

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zoologie a rybářství (FAPPZ)



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Společenstva půdní fauny na antropogenně zatížených
lokalitych
Diplomová práce**

Autor práce: Bc. Eliška Satránská

Obor studia: Zájmové chovy zvířat

Vedoucí práce: Ing. Štěpán Kubík, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Společenstva půdní fauny na antropogenně zatížených lokalitách" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 13. 4. 2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Ing. Štěpánu Kubíkovi, Ph.D.za odbornou pomoc při psaní a korekci diplomové práce a dále bych chtěla poděkovat své rodině za podporu během celého mého studia, sestřenici Sarah Khalafové za pomoc při překladu, a nakonec mé drahé přítelkyni Romaně Vaňoučkové za morální podporu a gramatickou pomoc při psaní diplomové práce.

Společenstva půdní fauny na antropogenně zatížených lokalitách

Souhrn

Tato diplomová práce se zabývá tématem společenstva půdní fauny v antropogenně zatížené lokalitě. Byla stanovena počáteční hypotéza, že environmentální zátěž způsobená provozem chemické továrny bude v těsné blízkosti odkaliště negativně ovlivňovat diverzitu a složení společenstev půdní fauny. Jako modelová lokalita pro vlastní terénní výzkum byla vybrána oblast na pravém břehu řeky Labe v blízkosti odkaliště společnosti Synthesia a. s., která se zabývá výrobou chemických a farmaceutických produktů. Jedná se o přirozený porost topolů a vrb, a dále o travnaté nebo písčité lokality s nízkou vegetací, které bezprostředně navazují na areál chemické továrny. Teoretická část práce je zaměřena na charakteristiku společenstev půdní fauny a v praktické části jsou vyhodnocena data z terénního výzkumu, která jsou diskutována v souvislosti s prostředím zatíženým lidskou činností, konkrétně s blízkostí odkaliště, které je součástí chemické továrny. Cílem práce bylo zjistit, zda environmentální zátěž způsobená provozem chemické továrny bude v těsné blízkosti odkaliště negativně ovlivňovat diverzitu a složení společenstev půdní fauny. Výzkum měl dvě části: sběr půdních vzorků pro determinaci skupin půdní fauny a sběr žížal. Determinovaná půdní fauna z půdních vzorků se statisticky šetřila jednofaktorovou ANOVOU. Půdní vzorky byly sbírány na dvou typech stanovišť: porost vrb a topolů (VT) a travnatých nebo písčité lokality s nízkou vegetací (NT), které byly v různých vzdálenostech od předmětného odkaliště. Výsledky ukázaly, že více jedinců nacházelo na stanovištích NT a také se zde vyskytovalo v průměru o jeden skupinu půdní fauny navíc. Celkem bylo v půdních vzorcích nalezeno 2579 jedinců bezobratlých, z tohoto počtu bylo na stanovištích VT nalezeno 1146 jedinců a na stanovištích NT 1433 jedinců různých skupin. Největšími skupinami bezobratlých determinovaných z půdních vzorků byli roztoči, chvostokoci a podřád roztočů pancířníci. Ostatní skupiny bezobratlých (stonožky, stonoženky, stejnonožci, mravenci, vidličnatky, holometabola – Larvy a dospělci hmyzu s proměnou dokonalou, mnohonožky, pisivky, hmyzenky, zástupci dvoukřídlých a další) byly nalezeny v nízkém počtu. Hojný výskyt roztočů v půdní fauně byl na stanovištích očekáván, rozdíly v jejich početnosti mezi stanovišti NT a VT nebyly nijak významné, prakticky shodné. U skupin půdních živočichů s více než 10% zastoupením byla provedena analýza populační dynamiky a všechna data byla podrobena analýze statistickou metodou ANOVA. Analýza byla zaměřena na porovnání lokalit mezi sebou, tak aby bylo možno zjistit, zda dochází k úbytku půdní fauny směrem k odkališti či nikoli. Z výsledků a analýzy vyplynulo, že v dané lokalitě není žádný významný statistický rozdíl diverzity půdní fauny mezi stanovišti nacházejícími se v těsné blízkosti odkaliště a vzdálenějšími stanovišti. Při výzkumu žížal v této oblasti bylo nalezeno celkem 89 jedinců a byly objeveny druhy, které zde ani v širším okolí nebyly dosud zaznamenány. Jednalo se o druhy *Octolasion cyaneum*, *Aporrectodea rosea*, *Aporrectodea caliginosa*. Běžně se vyskytující druhy jako např. *Lumbricus terrestris*, zde byly nalezeny ve velmi malém počtu. Nejhojněji byly zastoupeny druhy obývající kyselější typy půd – *Aporrectodea rosea* a *Aporrectodea caliginosa*. Ani v případě této skupiny půdní fauny nebyl zjištěn významný početní rozdíl mezi lokalitami v těsné blízkosti odkaliště a těmi

vzdálenějšími. Ze všech výsledků a analýz výzkumu vyplývá, že v dané lokalitě není žádný významný statistický rozdíl diverzity půdní fauny mezi stanovišti nacházejícími se v těsné blízkosti odkaliště a vzdálenějšími stanovišti. Výsledky a srovnání jednotlivých lokalit vyvrátily hypotézu, že environmentální zátěž způsobená provozem chemické továrny negativně ovlivňuje diverzitu a složení společenstev půdní fauny v těsné blízkosti odkaliště. Z tohoto důvodu byla základní hypotéza vyvrácena a cíl práce, jímž mělo být zpracování a vyhodnocení dat z vlastního terénního výzkumu, byl splněn.

Klíčová slova: půdní fauna, edafon, rizikové prvky, antropogenní vliv

Soil fauna on anthropogenically influenced land

Summary

This thesis focuses on the community of soil fauna in an anthropogenically burdened area. The initial hypothesis was that the environmental pollution caused by the operation of a chemical factory would negatively affect the diversity and composition of soil fauna communities in close proximity to a waste pond. The study area selected for field research is located on the right bank of the Elbe river, near the waste pond of Synthesia a.s., a company that produces chemical and pharmaceutical products. The area consists of natural stands of poplar and willow trees, as well as grassy or sandy locations with low vegetation that immediately adjoin the chemical factory. The theoretical part of the thesis is focused on the characteristics of soil fauna communities, while the practical part evaluates data from field research and discusses their connection with the environment affected by human activity, specifically the proximity of the waste pond that is part of the chemical factory. The aim of the study was to determine whether the environmental pollution caused by the operation of the chemical factory would negatively affect the diversity and composition of soil fauna communities in close proximity to the waste pond. The research had two parts: the collection of soil samples for the determination of soil fauna community and the collection of earthworms. The determined soil fauna from the soil samples was statistically examined using one-factor ANOVA. The soil samples were collected from two types of habitats: stands of willow and poplar trees (VT) and grassy or sandy locations with low vegetation (NT), at different distances from the waste pond. The results showed that more individuals were found at NT sites and, on average, one additional soil fauna community was present there. A total of 2579 invertebrates were found in the soil samples, with 1146 individuals found in VT sites and 1433 individuals in NT sites, belonging to different groups. The largest groups of invertebrates determined from soil samples were mites, springtails, and oribatid mites. Other groups of invertebrates (centipedes, millipedes, isopods, ants, diplurans, holometabolous insects, symphyla, psocoptera, proturans, diplurans, and others) were found in low numbers. Abundant occurrence of mites in the soil fauna was expected at the sites, and differences in their abundance between the sites near the waste pond (NT) and distant sites (VT) were not significant, practically identical. For groups of soil animals with more than 10 % representation, a population dynamics analysis was performed, and all data were subjected to ANOVA statistical analysis. The analysis was aimed at comparing the sites with each other, in order to determine whether there was a decrease in soil fauna towards the waste pond or not. The results and analysis showed that there was no significant statistical difference in the diversity of soil fauna between sites located in close proximity to the waste pond and more distant sites. During the investigation of earthworms in this area, a total of 89 individuals were found, and species that had not been previously recorded here or in the surrounding area were discovered. These were the species *Octolasion cyaneum*, *Aporrectodea rosea*, and *Aporrectodea caliginosa*. Commonly occurring species such as *Lumbricus terrestris* were found in very small numbers. The most abundant species were those inhabiting more acidic soil types – *Aporrectodea rosea* and *Aporrectodea caliginosa*. Even in the case of this community of soil fauna, no significant numerical differences were found between sites in

close proximity to the waste pond and more distant sites. From all the research results and analyses, it can be concluded that there is no significant statistical difference in the diversity of soil fauna between sites located in close proximity to the waste pond and more distant sites. The results and comparisons of individual sites have refuted the hypothesis that the environmental pollution caused by the operation of the chemical factory negatively affects the diversity and composition of soil fauna communities in close proximity to the waste pond. For this reason, the basic hypothesis was refuted, and the aim of the work, which was to process and evaluate data from our own field research, was achieved.

Keywords: soil fauna, edaphon, heavy metal pollution, anthropogenic activity

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	11
3 Literární rešerše	11
3.1 Vlastnosti, funkce a význam půdy	11
3.2 Degradace půd	15
3.2.1 Biologická degradace	17
3.2.2 Fyzikální degradace.....	19
3.2.3 Chemická degradace.....	20
3.3 Edafon.....	25
3.3.1 Fytoedafon	27
3.3.2 Zooedafon	28
3.4 Významní zástupci zooedafonu na sledovaném území	29
3.4.1 Půdní mikrofauna.....	29
3.4.2 Půdní mezofauna	30
3.4.3 Půdní makrofauna.....	34
4 Praktická část.....	38
4.1 Charakteristika studované oblasti.....	38
4.1.1 Popis lokality	39
4.1.2 Potenciální kontaminace lokality.....	41
4.2 Metodika	41
4.2.1 Pomůcky a vybavení	41
4.2.2 Odběr půdy, extrakce a determinace mezoedafonu.....	42
4.2.3 Odběr žížal (<i>Lumbricidae</i>) a zpracování vzorků	43
4.2.4 Statistické metody	43
5 Výsledky	43
5.1 Analýza populační dynamiky hlavních složek mezoedafonu	44
5.1.1 Roztoči (<i>Acari</i>).....	44
5.1.2 Pancířníci (<i>Oribatida</i>)	45
5.1.3 Chvostokoci (<i>Collembola</i>).....	45
5.2 Analýza dat skupiny žížal (<i>Lumbricidae</i>)	46
5.2.1 Stanoviště NT	46
5.2.2 Stanoviště VT	46
5.3 Celková statistická analýza dat	47
5.3.1 Stanoviště VT1	48
5.3.2 Stanoviště VT2	49
5.3.3 Stanoviště VT3	51

5.3.4	Stanoviště VT4	52
5.3.5	Stanoviště VT5	54
5.3.6	Stanoviště VT6	55
5.3.7	Stanoviště NT1	57
5.3.8	Stanoviště NT2	58
5.3.9	Stanoviště NT3	60
5.3.10	Stanoviště NT4	61
5.3.11	Stanoviště NT5	63
5.3.12	Stanoviště NT6	64
6	Diskuze	66
7	Závěr	68
8	Literatura.....	69
9	Seznam obrázků.....	73

1 Úvod

„Experiment je otázka, kterou věda pokládá k přírodě, a měření je záznam odpovědi přírody.“

Max Planck, německý fyzik

Půda je jedním z nejdůležitějších aspektů života všech organismů na naší planetě a hraje zásadní roli v celém ekosystému Země. Ačkoliv je půda na samém dně potravního řetězce, je v podstatě základním kamenem veškerého života. Poskytuje rostlinám vše potřebné k růstu a ty pak poskytují nezbytnou obživu dalším organismům v potravním řetězci. Půda ukotvuje kořeny rostlin, zadržuje vodu, živiny, organický uhlík, a také znečišťující látky. Je domovem obrovského množství organismů s úžasnou biologickou rozmanitostí. Pro člověka je nejen zdrojem potravy, ale také léčiv nebo stavebních materiálů. Půda hraje také důležitou roli při ochraně planety před změnami klimatu tím, že zmírňuje dopady extrémních povětrnostních vlivů a reguluje teplotu Země. Je důležité si uvědomit, že je půda neobnovitelným zdrojem. Eroze může způsobit ztrátu jednoho centimetru půdy za rok, přičemž tento centimetr se tvoří stovky až tisíce let. Už z těchto důvodů by nám nemělo být lhostejné, jak se s půdou a všemi jejími složkami zachází. Jedině zdravá půda může plnit všechny výše uvedené prospěšné funkce a je tedy v zájmu lidstva zacházet s půdou šetrně, ohleduplně a ekologicky, a je velmi důležité monitorovat stav půdy na různých stanovištích, chránit ji před erozí a znečištěním či případně účelně revitalizovat.

Všechny půdy mají svou unikátní morfologii, která vyplývá z osobité kombinace klimatu, živých organismů, matečného substrátu, reliéfu, stáří a mnoha dalších atributů. Kvalitu půdy ovšem neodvozujeme jen z těchto půdních vlastností a charakteristik, ale také z její schopnosti vykonávat své klíčové funkce v oblasti produktivity, životního prostředí a zdraví. Hodnotu půdy je třeba posuzovat v širších souvislostech. Změny v kvalitě půdy lze měřit pomocí ukazatelů, které zahrnují fyzikální, chemické a biologické procesy a charakteristiky, přičemž biologické vlastnosti půdy, které jsou závislé na společenstvech půdní fauny, zde hrají velmi důležitou roli. Již v roce 1994 poukazovali Doran a Parkin při definování a hodnocení kvality půd na skutečnost, aby základní indikátory kvality půdy souvisely s funkcemi ekosystémů a upozorňovali na alarmující nedostatek informací o biologických ukazatelích kvality půdy. Od té doby došlo k mnoha výzkumům a vědeckým studiím, z nichž jasně vyplynulo, jak jsou půdní organismy citlivými indikátory nejen lidského hospodaření a klimatických změn, ale také kvality a zdraví půd. Diverzita a početnost organismů souvisí totiž s rozkladem organické hmoty, vývojem rostlin, toxikací těžkými kovy, pesticidy a jinými znečišťujícími látkami nebo přítomností patogenů v půdě (Martinez-Salgado et al. 2010).

Společným cílem studií zaměřených na kvalitu půdy je její ochrana před erozí a degradací, případně revitalizace již poškozených lokalit. Z výše uvedeného vyplývá, jakými významnými bioindikátory kvality půdy mohou být některé půdní organismy, a z tohoto důvodu je také předmětem této práce půdní fauna na antropogenně zatížených lokalitách, jejímž cílem je zjistit potencionální dopad lidské činnosti na půdní organismy.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem této práce je zpracování a vyhodnocení dat z vlastního terénního výzkumu malého rozsahu. Práce je zaměřena na charakteristiku společenstev půdní fauny v prostředí zatíženém lidskou činností. Jako modelová lokalita byl vybrán přirozený porost topolů a vrb na břehu Labe v těsné blízkosti odkaliště chemické továrny u Rybitví.

Hypotéza: Environmentální zátěž způsobená provozem chemické továrny bude v těsné blízkosti odkaliště negativně ovlivňovat diverzitu a složení společenstev půdní fauny.

3 Literární rešerše

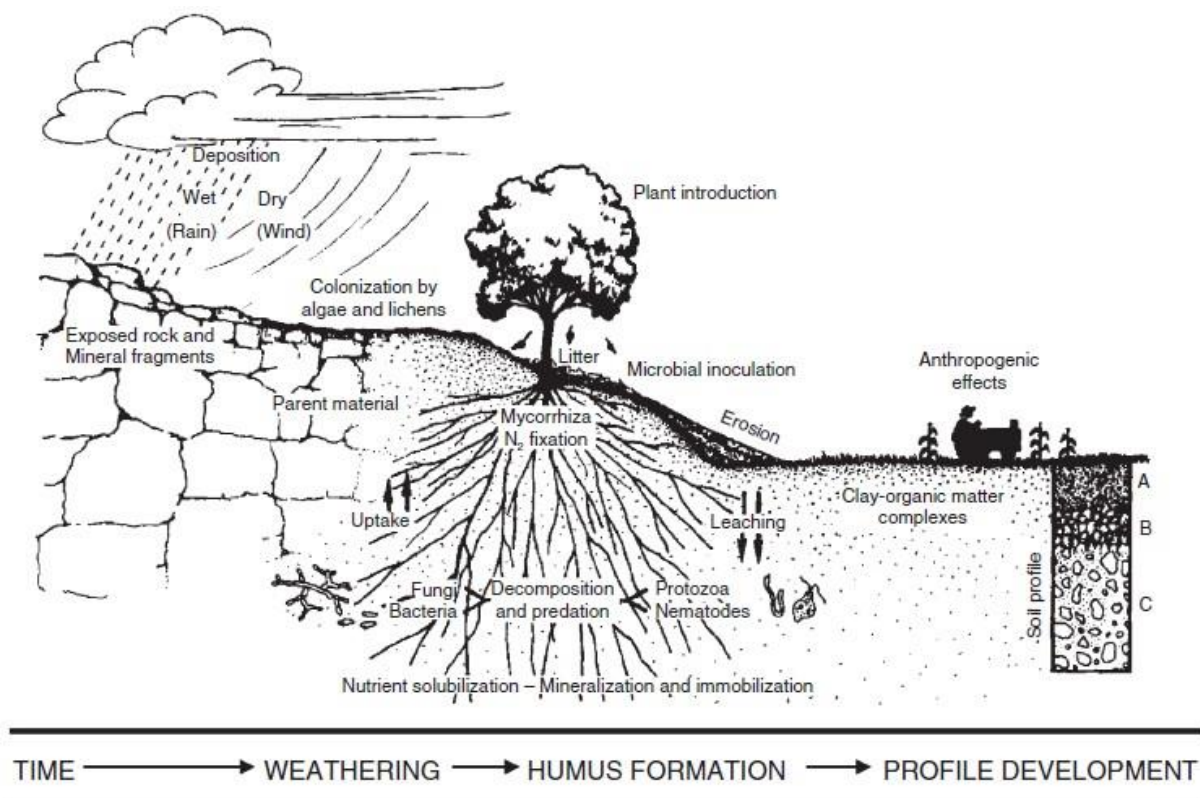
Kapitola je rešeršní částí práce zaměřenou na dosavadní znalosti o půdě, které ji charakterizují s důrazem na degradaci půd a půdní společenstva.

3.1 Vlastnosti, funkce a význam půdy

Půda je přirozeně se vyskytující, nezpevněný minerální a organický materiál na zemském povrchu, který vznikl v důsledku zvětrávání hornin nebo kumulací minerální hmoty transportované vodou, větrem nebo ledem (Nortcliff et al. 2006). Tento zvětralý minerální materiál poskytuje životní prostředí živým organismům. Interakce těchto organismů s horninami a minerály, vodou, atmosférou a mrtvou organickou hmotou dávají vzniknout půdě s určitými chemicko-fyzikálními vlastnostmi (Paul 2007). Složení půdy je tedy výsledkem působení klimatu a živých organismů žijících v půdě i na ní.

Velice přiléhavou definici půdy vyslovil Vasilij Vasiljevič Dokučajev (1846–1903), který byl zakladatelem pedologie. Půda je dle něho povrchová vrstva hornin, které jsou proměněné působením vody, vzduchu a organismů. Označil půdu za přírodně-historický útvar s neustále se měnícími vlastnostmi, v důsledku působení hornin, klimatu, rostlinných a živočišných organismů, reliéfu, nadmořské výšky a doby. Dokučajev také jako první prohlásil, že půda je nezávislé přírodní těleso, které se liší od všech ostatních přírodních těles, a tím definoval zvláštní postavení půdy v přírodě. (Rusakova et al. 2022)

Alloway (1995) uvádí, že půdu tvoří komplexní heterogenní směs, která je složena z minerálů, organické hmoty, vodních a plyných komponentů. Obecně lze říci, že směs minerálních a organických materiálů dodává půdě její charakteristické vlastnosti. Variabilita pedosféry je ve srovnání s ostatními součástmi ekosystému vysoká, což plyne z komplikované stavby půd a také z mnoha faktorů, které se podílejí na jejich vývoji a vzniku, jak znázorňuje obrázek 1. Na povrchu Země se vyskytuje mnoho různých půd s variabilní kombinací minerální a organické hmoty. Půda se skládá z vertikálních vrstev, které se liší svými fyzikálními, chemickými i biologickými vlastnostmi. Tato sekvence vrstev se nazývá půdní profil (viz obr. 1).

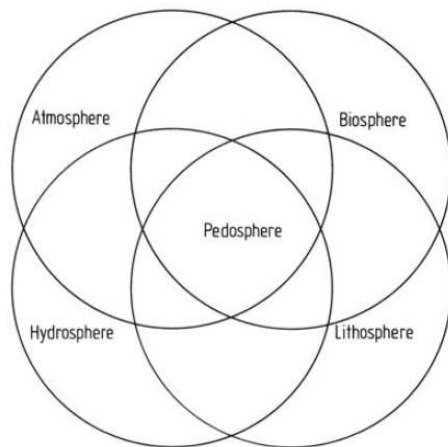


Obrázek č. 1: Vzájemné vztahy organismů, organické hmoty a anorganické složky při tvorbě půdy. (Paul 2007)

Pro svrchní vrstvy půdy je typická kumulace organické hmoty v důsledku ukládání rostlinných a živočišných zbytků. Jde také o biologicky nejaktivnější část půdy podléhající značným změnám v důsledku počasí. V těchto povrchových vrstvách dochází k přeměně organických i minerálních materiálů a k uvolňování vedlejších produktů těchto přeměn a jejich odvádění do nižších vrstev půdy (*eluviace*). (Paul 2007) Rozklad organické hmoty a produkce dalších organických sloučenin, jakož i zvětrávání hornin za vzniku druhotných produktů (např. jílu) a následné uvolňování minerálů, které mohou přijímat rostliny, určuje charakter půdy. (Nortcliff et al. 2006) Pro každý typ půdy jsou pak charakteristické přidružené organismy a vznikají tak různé půdní biotopy. Půdní biotop je definován jako souhrn živých organismů (rostlin, zvířat, mikroorganismů) žijících v jejich abiotickém prostředí. Přesný charakter takového biotopu, v němž společenstvo organismů žije, je dán určitou souhrnou geologie, klimatu a rostlinné vegetace. Tyto složité interakce horniny s teplotou, srážkami, nadmořskou výškou, zeměpisnou šířkou, vystavením slunci a větru a mnoha dalšími faktory s charakteristickými rostlinnými společenstvy daly vzniknout současným typům a druhům půd na Zemi. (Paul 2007)

Proces, kterým vzniká půda, se nazývá *pedogeneze* a zahrnuje interakce mezi litosférou, hydrosférou, atmosférou a biosférou (obr. 2). Na zemském povrchu se vlivem povětrnostních sil litosféra stává pedosférou. Půda je tedy komplexní, vícefázová směs minerálů, vody, vzduchu a organismů spolu s produkty jejich přeměny a degradace. V závislosti na klimatických podmínkách a povaze podložních hornin mohou vznikat velmi odlišné typy půd, přičemž rychlost tvorby závisí na tom, jak rychle jsou horniny zvětrávány

ve spodních vrstvách a jak rychle dochází k degradaci biomasy v horních vrstvách. (Nortcliff et al. 2006)



Obrázek č. 2: Vzájemné interakce zemských sfér. (Nortcliff et al. 2006)

Vzhledem k tomu, jak velkou škálu přírodních stanovišť půda poskytuje, je pochopitelné, že obsahuje obrovské množství biomasy. Jedná se o kořeny rostlin, houby, bakterie a jiné mikroorganismy a také větší živočichy. Údajně je v jedné lžici půdy obsažen větší počet živých organismů, než je lidí na planetě a jeden gram půdy obsahuje kilometry houbových hyf. (Paul 2007) Půdní biota tedy představuje velkou část biologické rozmanitosti Země a má celosvětové rozšíření. Vědci se domnívali, že půdní organismy jsou omezeny na několik horních metrů suchozemských ekosystémů, ovšem nyní je známo, že přežívají i na některých zdánlivě nepravděpodobných a často nehostinných místech, včetně korun stromů tropických pralesů, v čerstvých sopečných oblastech, pod hlubokým sněhem v alpských biosystémech, v půdách antarktických údolí, v kapsách tající vody obsahující navátou půdu na povrchu ledovců apod. (Paul 2007) Na rozšíření půdní bioty a zvláště mikroorganismů se podílí řada mechanismů, mezi které patří např. transport prostřednictvím vodních toků, podzemních vod a mořských proudů, letecká doprava ve spojení s prachovými částicemi a aerosoly (zejména během extrémních povětrnostních jevů, jako jsou hurikány a prachové bouře), dále transport na nebo ve traktu stěhovavých ptáků, hmyzu a vodních organismů, a samozřejmě antropogenní zásahy.

Půdy jsou složité ekosystémy, které jsou silně propojeny s ostatními složkami životního prostředí (vodou a vzduchem). Díky těmto vazbám existují dalekosáhlé interakce s ostatními složkami životního prostředí, jejichž prostřednictvím mají půdy důležitou funkci ekologického zprostředkovatele. Ekologie půdy klade velký důraz na živou složku půdy, půdní organismy a jejich vzájemné vztahy a vztahy s okolním prostředím. Zaměřuje se také na pojmenování významných mechanismů, které ovlivňují biochemické procesy v půdě, ale také na funkci a strukturu jednotlivých půdních organismů. Získané informace pak využívá k odhadům měnícího se klimatu a půdní výkonnosti. (Martinez-Salgado et al. 2010)

Půda plní velmi mnoho funkcí. Jsou to funkce související s přírodními ekosystémy, zemědělskou produktivitou, kvalitou životního prostředí, půdou jako zdrojem surovin a jako základem pro stavby (Nortcliff et al. 2006). Nejvíce uznávána a chápána je z nich pravděpodobně funkce zemědělská, neboť se jedná o produkční funkci, na kterou spoléhá nejen celé lidstvo. K plnění této produkční funkce musí být půda schopna skladovat a recyklovat živiny, absorbovat, filtrovat a zadržovat vodu, poskytnout mechanickou podporu rostlinám, umožnit osídlení půdním organismům, vytvořit podmínky pro detoxikaci organickým i anorganických látek a další.

Z hlediska životního prostředí jsou nejdůležitější funkce regulační a produkční, společně označované jako ekologické funkce půdy. Mezi další funkce půdy patří surovinové zdroje, půda pro výstavbu, rekreační oblasti a odstraňování odpadů. Filtrační funkcí je mechanické zadržování částic a koloidů systémem půda-póry. K dalším funkcím patří vázání rozpuštěných látek absorpcí a desorpcí, inkluze a uvolňování látek (včetně vody) pórovými prostory

a půdními organismy. Funkce stanovištní je schopnost půdy podporovat kolonie organismů uvnitř a na vrstvě půdy, kde patří také substrát pro vyšší rostliny. Produkční funkce se liší od funkce stanovištní tím, že zde má prvořadý význam ekonomické využití biomasy. Ostatní funkce půdy jsou převážně nebo výhradně antropogenního charakteru. Ekologické funkce jsou zde ve srovnání s antropogenní exploatací méně důležité nebo jsou nepřímo využívány např. při degradaci či sorpci znečišťujících látek. Na rozdíl od ostatních půdních funkcí (úložiště surovin, stavební, rekreační, nakládání s odpady) lze regulační a stanovištní funkce definovat pouze na základě přirozených pedologických a ekologických vlastností půdy. Produkční funkci lze rozlišit jak na základě ekologických aspektů (stanoviště pro kulturní rostliny), tak socioekonomických kritérií, protože je přímo propojena se zemědělstvím a lesnictvím. (Paul 2007)

Na rozdíl od jiných složek životního prostředí (voda, vzduch) se lidé zmocnili půdy, jakmile se postavili na nohy. V některých jazycích jsou dokonce slova země a půda často synonymy. Půda totiž představuje nejdůležitější přírodní zdroj pro člověka, a to po stránce materiální i kulturní. (Nortcliff et al. 2006) Dle Hrušky et al. (2021) můžeme funkce, které plní půda v přírodě ve vztahu k potřebám člověka, začlenit do tří skupin: užitkové, kulturní a environmentální. K užitkovým funkcím půdy patří její úloha v zemědělství a lesnictví (stanoviště zemědělských a lesních plodin), dále v průmyslu, kdy je zdrojem pro dobývání surovin (písky, šterky, hlíny, rašelina apod.). Má také hospodářské využití a je prostorem pro lidské aktivity (bydlení, rekreaci, život). Kulturní funkci plní půda formou archeologických a paleontologických nálezů, čímž nám dává informace o vývoji organismů nebo klimatu. K environmentálním (ekologickým) funkcím půdy řadíme její funkce transportní, filtrační, akumulační, retenční a jiné. (Hruška et al 2021).

Pravděpodobně nejvíce jsou studovány produktivní funkce půdy, nicméně stále častěji je funkce půdy dávat do souvislosti s udržováním kvality životního prostředí, jako je filtrování toxických materiálů aplikovaných na povrch půdy (nejčastěji pesticidy).

3.2 Degradace půd

Vývoj člověka a společnosti od pravěku je úzce spjat se zvyšující se schopností obhospodařovat půdu ve prospěch člověka. Tohoto pokroku bylo dosaženo úpravou rovnováhy mezi půdou a jejím přirozeným prostředím. Tyto úpravy nevedly vždy k pozitivním reakcím a přínosům a v průběhu historie existují záznamy popisující ničení půdy v důsledku špatného hospodaření s půdou a jejím zneužitím, často v důsledku nepochopení povahy a složitosti vztahů mezi půdou a prostředím. Budoucí využití půdy musí brát v úvahu tyto vztahy a je tedy žádoucí zkoumat všechny změny v těchto vztazích a reakce na změny podmínek prostředí. (Nortcliff et al. 2006)

Podle Lal & Steward (1990) je degradace půdy jednou z největších výzev, kterým lidstvo čelí. Ačkoli jde o problém odvěký, jeho rozsah a dopad na blahobyt lidí a globální životní prostředí jsou nyní větší než předtím. Degradace půdy podkopává produkční kapacitu ekosystému a ovlivňuje globální klima prostřednictvím změn vodní a energetické bilance a narušením cyklu uhlíku, dusíku, síry a dalších prvků. Svým dopadem na zemědělskou produktivitu a životní prostředí může vést degradace půdy ke zvýšené míře odlesňování, intenzivnímu využívání pozemků, zrychlení odtoku a erozi půdy, znečištění přírodních vod a emisím skleníkových plynů, a také k politické a sociální nestabilitě. Většina starověkých civilizací vzkvétala na úrodných půdách. S tím, jak klesala produktivita půdy, klesala postupně i životní úroveň celé kultury a civilizace, která na ní závisely. Olson (1981) uvádí, že degradace půdy byla zodpovědná za zánik harappské civilizace v západní Indii a mayské kultury ve Střední Americe. (Lal & Stewart 1990)

Degradací půdy se rozumí ztráta nebo snížení produktivity půdy, ke kterému dochází v důsledku různých přírodních procesů, často urychlených antropogenní aktivitou. Nejvýznamnějšími příčinami degradace půdy jsou nadměrné využívání půdy, změna klimatu, přelidnění a urbanizace. Degradace půdy vede ke snížení kvality půdy a snížení budoucího potenciálu pro přežití živých organismů. Jde o globální hrozbu se třemi odlišnými kategoriemi: přirozená degradace, degradace způsobená člověkem a desertifikace. Indukovaná degradace je důsledkem nevhodného využívání půdy a managementu a probíhá rychleji než přirozená degradace. Nejzávažnější formou degradace je desertifikace, ke které dochází v suchých oblastech pokrývajících asi 40 % světového povrchu země. (Dragović & Vulević 2020)

Degradace půdy má účinky na samotném místě, i mimo něj. Účinky na místě se projevují přímo tam, kde dochází k degradaci (snížení produkční kapacity půdy), zatímco účinky mimo tuto lokalitu se projevují v okolních oblastech např. formou záplav, sedimentace, poklesu kvality vody apod. (FAO 2011)

Úbytek a degradace půd, tj. degradace povrchové půdy nebo ornice, je jedním z největších ekologických problémů světa. Půda je základem pro produkci potravin a zůstane jím i v budoucnu. Tisíce hektarů obdělávané půdy je každý rok ztraceno vlivem eroze, zasolování a desertifikace. V 70. – 90. letech 20. století podle odhadů přišli zemědělci o 480 109 t ornice, což se rovná množství celé ornice Indie. (Nortcliff et al. 2006)

Rychlost procesu degradace půdy závisí na přírodních faktorech (charakteru půdy, podnebí a typu vegetace) a na antropogenních faktorech (využívání půdy, systém hospodaření a způsoby pěstování) (Lal 2001). Podle Lal (2001) je více než 75 % půdy na světě znehodnoceno. V letech 1977 až 2003 bylo provedeno pět globálních hodnocení degradace půdy, v nichž se ukázalo, že celková globální degradace se pohybuje mezi 15 % a 63 %, u suchých oblastí je toto rozmezí mezi 4 % a 74 %. Oldeman et al. (1991) uvádí, že degradace půdy způsobená člověkem postihuje celosvětově plochu 1 965 milionů ha. Podle světové mapy degradace půdy způsobené člověkem patří k zemím s nejvíce degradovanou půdou hlavně africké státy. V západní a severní Evropě způsobuje degradaci půd hlavně urbanizace a rozvoje infrastruktury, a tedy hlavně zástavba půdy, zatímco v jižní, střední a východní Evropě je hlavní degradačním mechanismem půdy vodní eroze (EEA 1999). Panagos et al. (2015) odhadují, že nejvyšší míra eroze půdy v zemích EU se vyskytuje ve středomořských a alpských zemích, jako je Itálie, Řecko a Rakousko, a to kvůli vysokému množství srážek a strmým svahům. (Lal 2001)

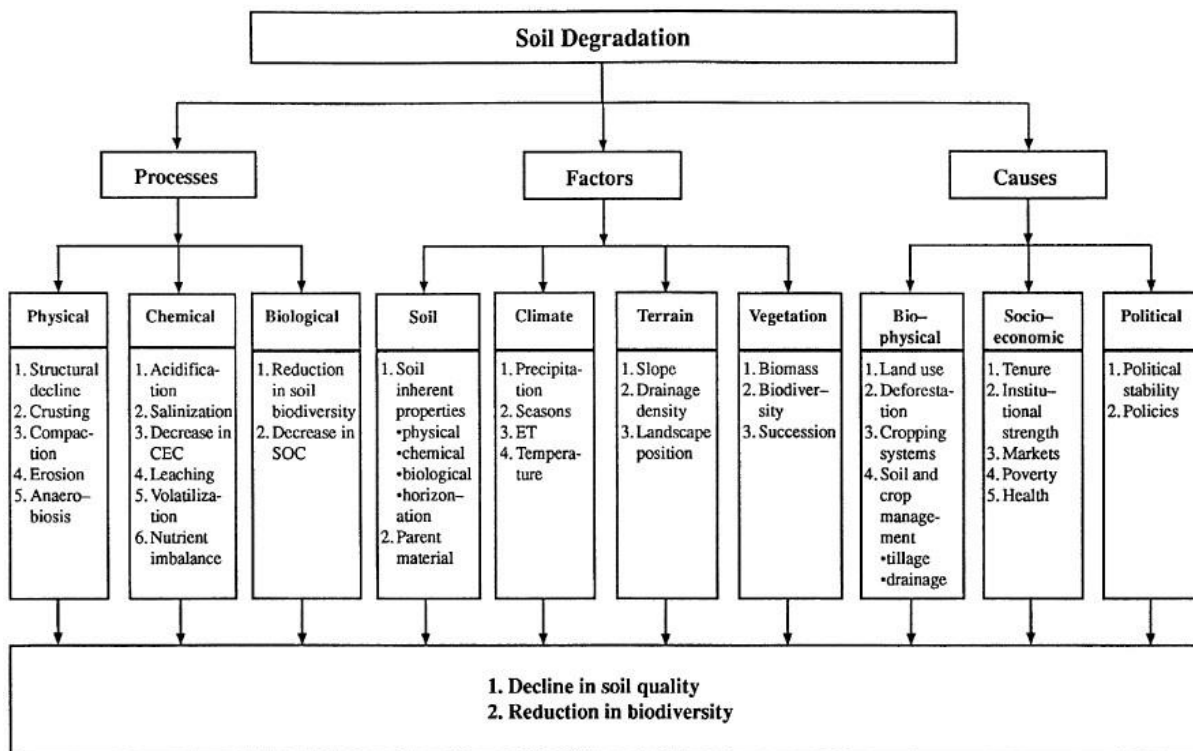
Hruška et al. (2021) uvádí: „V současnosti dochází v České republice k velmi závažným degradacím půd a tím k poškozování jejich funkcí. Degradace půd je procesem pomalým, plíživým, ale jeho důsledky mohou vést k omezení nebo až úplnému zničení cenných produkčních i mimoprodukčních funkcí.“ Degradaci či úbytek půdy způsobuje hlavně vodní a větrná eroze, zastavování půd, jejich utužování, dále ztráta organické hmoty a znečišťování půd, přičemž tyto faktory degradace spolu vzájemně souvisejí. Jeden faktor může podmínit vznik druhého, čímž dochází již k takové degradaci, která způsobí nevratné škody, jak ukazuje obrázek č. 3. (Hruška et al. 2021)



Obrázek č. 3: Degradace půdy (Vopravil 2016).

Nejrozšířenějšími procesy, které vedou k degradaci půdy a půdních zdrojů, jsou fyzikální, chemické, biologické a přírodní procesy. Fyzikální procesy zahrnují pokles struktury půdy, což vede k tvorbě krust, zhutňování, erozi, desertifikaci a znečištění životního prostředí, zatímco chemické procesy zahrnují ztrátu živin a/nebo organické hmoty, acidifikaci, salinizaci a znečištění. K biologickým procesům degradace půdy patří pokles

biodiverzity půdy a snížení množství uhlíku v půdě i biomase. (Dragović & Vulević 2020)
 Názorné rozdělení typů degradace podle různých hledisek ukazuje obrázek č. 4:



Obrázek č. 4: Typy, faktory a důsledky degradace půd. (Lal 1997)

Podle expertního stanoviska Akademie věd České republiky (2020), je také v České republice půda stále více degradována, čímž ztrácí schopnost plnit své základní funkce. Došlo k úbytku půdních organismů a celkovým změnám ve struktuře jednotlivých půdních společenstev a biologických procesů s nimi souvisejících. Dle tohoto stanoviska přibližně 600 000 ha orné půdy ztratilo kvůli strukturním změnám a úbytku půdní biomasy svou schopnost zadržovat vodu. V posledních dvou desetiletích plošně ubývá cca 5000 ha orné půdy ročně, a to nejčastěji v důsledku zástavby. Vlivem eroze pak Česká republika přichází každoročně o více než 20 milionů tun ornice, což má také velké ekonomické dopady. (AV ČR 2020)

3.2.1 Biologická degradace

Snížení obsahu organické hmoty v půdě, pokles uhlíku v biomase a pokles aktivity a rozmanitosti půdní fauny jsou důsledky biologické degradace. Kvůli převládajícím vysokým teplotám půdy a vzduchu je biologická degradace v tropech rychlejší a závažnější než v mírném pásmu. Biologickou degradaci způsobuje mnoho faktorů, z nichž nejvýznamnější je

odlesňování, nadměrná pastva a pěstování monokultur. Biologická degradace může být také způsobena nadměrným používáním chemikálií a látek znečišťujících půdu. (Lal & Stewart 1990)

Hlavními přirozenými příčinami odlesňování jsou požáry a povodně, z lidských činností je to pak těžba dřeva, přeměna lesa na zemědělskou půdu a urbanizace. Kácení stromů v lesích vede nepřímo k ničení půdy. Prostřednictvím kácení stromů je půda často vystavena erozi větrem nebo vodou. (Nortcliff et al. 2006) Vlivem odlesňování dochází k úbytku druhů, zvýšené emisi uhlíku nebo nárůstu skleníkového efektu, dále také k záplavám a erozi půdy.

Další z degradačních faktorů – intenzivní pastva – vede k výraznému narušení růstu, kvality a složení porostu. Louky často spásané větším počtem hospodářských zvířat ztrácejí vegetační kryt a tím i úrodnost půdy, která se stává náchylnou k erozi. Četné studie prokázaly, že při nadměrné pastvě dochází ke změně půdní vlhkosti, organické hmoty, obsahu dusíku a mikrobiální aktivity. Nortcliff et al. (2006) uvádí, že v důsledku nadměrné pastvy po dobu 40 let je celkový uhlík v půdě trvale snížen o 12 %. To je také příčinou eroze půdy a desertifikace.

Ke ztrátě živin a snížení odolnosti plodin i půdy vůči hmyzu a škůdcům vede také pěstování monokultur (nejčastěji pšenice, kukuřice, rýže) po dlouhou dobu na stejné půdě bez střídání jinými plodinami. Zemědělci jsou pak nuceni používat pesticidy, aby byl zajištěn požadovaný výnos půdy. Umělá hnojiva, pesticidy a další chemikálie zatěžují půdu např. těžkými kovy a jinými toxickými látkami. Jejich neselektivní a nadměrné používání má trvale negativní vliv na kvalitu půdy a představuje jednu z nejvýznamnějších forem degradace (Oldeman et al. 1991).

Všechny výše uvedené biologické faktory degradace půd vedou k úbytku organické hmoty, která je důležitá nejen pro úrodnost půdy, ale také pro její strukturu, provzdušňování, infiltraci, schopnost zadržovat vodu a biologickou rozmanitost půdy. Organická hmota je zdrojem energie pro půdní mikroorganismy a redukuje také kyselost půdy. Organický uhlík je nejdůležitější složkou (asi 58 %) organických látek a ukazatelů kvality půdy (Young et al. 2015). Významné ztráty uhlíku vznikají při odlesňování, pastvě, spalování biomasy atd. (Lal 1997). Celkové množství organického a anorganického uhlíku v půdě je třikrát větší než v atmosféře. Podle výzkumu provedeného ve Společném výzkumném centru (Itálie) má 45 % půdy v Evropě nízký nebo velmi nízký obsah organického uhlíku. Zemědělská výroba způsobila odhadovanou ztrátu 42 až 78 miliard tun uhlíku, který je vypouštěn hlavně do atmosféry jako oxid uhličitý s negativním vlivem na změnu klimatu. Objem organického uhlíku v půdě je třikrát větší než v atmosféře, proto i malé změny jeho koncentrace v půdě mají zásadní vliv na půdní systém. V praxi se kvůli tomu zavádí pěstování krycích plodin, aby se zlepšil obsah organické hmoty, který může mít obrovský přínos pro půdu (snížení eroze půdy a zabránění vyplavování živin). Kromě toho vyvážené hnojení zvyšuje výnosy plodin a do půdy se vrací zvýšené množství organických zbytků. (Dragović & Vulević 2020)

3.2.2 Fyzikální degradace

Fyzikální degradací se rozumí zhoršení fyzikálních vlastností půdy, ke kterým patří utužování (zhutňování) půdy, zástavba, eroze půdy vodou a větrem. Zhutňování půdy je způsobeno odstraněním nebo zmenšením strukturálních pórů přírodními a ve větší míře člověkem vyvolanými faktory. (Lal & Stewart 1990) Zhutnění půdy je způsobeno dlouhodobým tlakem na povrch půdy vyvolaných činnostmi těžké mechanizace při zpracování zemědělské půdy (Kertész 2009), nebo z důvodu vysoké intenzity pastvy a z toho vyplývajícího pastevního tlaku hospodářských zvířat. Důsledkem zhutnění půdy je ztráta úrodnosti půdy v důsledku strukturálních změn, snížení infiltrační schopnosti půdy, zvýšená citlivost k erozi a ztráta biodiverzity půdy. Půdy náchylné ke zhutnění podléhají rychlejší erozi.

Další z antropogenních fyzikálních faktorů degradace je zastavování půdy, což znamená pokrytí povrchu půdy nepropustným materiálem. Hlavními důvody zakrývání půdy jsou urbanizace, nárůst dopravní infrastruktury a migrace obyvatelstva. Kertész (2009) uvádí, že nejvyšší míra zastavování půdy byla zaznamenána v evropských zemích (hlavně Belgie, Dánsko a Nizozemsko), a to až 16–20 %. Děje se tak díky růstu populace a průmyslovému rozvoji. Důsledkem zakrývání půdy je zvýšení rizika povodní, narušení koloběhu vody, snížení podzemních vod, znečištění vod a ztráta biodiverzity půdy. Jedním z nejběžnějších opatření ke zmírnění těchto důsledků je použití vysoce propustných materiálů a povrchů při stavbách, použití zelené infrastruktury a zachycování vody. (Kertész 2009)

Eroze půdy je považována za hlavní a nejrozšířenější formu degradace půdy. Půdní eroze je způsobena činností vody a větru a představuje odlučování a pohyb půdních částic z jednoho místa na druhé. Tento proces může být přirozený nebo urychlený lidskou činností. Záleží na mnoha faktorech, z nichž nejdůležitější jsou konfigurace terénu (svahy) a klimaticko – meteorologické podmínky. Půdní eroze je nejvýraznější na strmém terénu, kde je půdní materiál snadno transportován vodou i větrem. Eroze větrem a vodou představuje celosvětový problém, který v některých částech světa překračuje únosné meze. Příмым důsledkem větrné eroze je desertifikace, kdy na daném místě vznikají podmínky podobné poušti. Takto erodovaná půda obsahuje dvakrát až pětkrát méně organické hmoty než původní půda, což má vážné následky přímo v lokalitě i mimo ni. (Lal & Stewart 1990) Dle (Nortcliff et al. 2006) způsobí vodní eroze celosvětově ztrátu $25\,000 \times 10^6$ t půdy. Čínští vědci odhadli, že v jejich zemi bylo od 60. let 20. století dodnes ztraceno erozí a desertifikací téměř 10 % orné půdy a podobně tomu bylo také v USA (Nortcliff et al. 2006). Globální ztráta půdy v důsledku vodní eroze činí 20–30 miliard tun ročně. (FAO a OSN 2015). Ztráty půdy způsobené větrnou erozí se odhadují na 2 miliardy tun ročně, zatímco ztráty půdy způsobené obděláváním půdy se odhadují na 5 miliard tun ročně. K zamezení nebo zmírnění vodní eroze by mohla být přijata různá biologická, technická, biotechnická a agrotechnická opatření. Pro zmírnění vodní eroze jsou např. využívány vodní hráze v korytě řek. Pro omezení větrné eroze se používají různé větrné zábrany, větrolamy, pásová výsadba plodin apod. (Dragović & Vulević 2020)

Mezi další příčiny fyzikální degradace půdy navíc patří špatné hospodaření se zavlažováním, používání těžkých zemědělských strojů, těžba nebo ukládání odpadů. (Dragović & Vulević 2020)

3.2.3 Chemická degradace

Mezi faktory chemické degradace patří salinizace, acidifikace a kontaminace půd, v důsledku čehož dochází k vyčerpávání živin. Nadměrné vyplavování kationtů v půdách s nízkoaktivními jíly navíc způsobuje pokles pH půdy a snížení nasycení bázemi. Chemická degradace je také způsobena nahromaděním některých toxických chemikálií a elementární nerovnováhou, která je škodlivá pro růst rostlin. (Lal & Stewart 1990)

Salinizace je jednou z nejrozšířenějších forem degradace půdy a vyskytuje se v aridních a semiaridních oblastech, kde je množství srážek malé a závlaha je aplikována bez řádného drenážního systému. K zasolování však může docházet ve všech klimatických oblastech, pokud je zavlažování prováděno nepravdělně a je výsledkem přírodních (primárních) a člověkem vyvolaných (sekundárních) procesů (FAO a OSN 2015). Předpokládá se, že degradace způsobená salinizační zásahy v posledních dvou desetiletích celkovou plochu asi 62 milionů hektarů s odhadovanými globálními ztrátami kolem 27,3 miliardy USD ročně (Qadir et al. 2014). V Evropě jsou nejohroženějšími zeměmi Itálie, Španělsko a Maďarsko. Podle Dragović & Vulević (2020), nejvýznamnějšími důsledky zasolování jsou ztráta úrodnosti půdy, snížení infiltrace vody, ztráta biologické rozmanitosti, poškození struktury půdy a její oslabení. Negativní účinky salinizace mohou být výrazně zmírněny lepším hospodařením s vodou (zavlažování a odvodňování), efektivnějším využíváním hnojiv a aplikací adaptivních kultur. (Dragović & Vulević 2020)

Acidifikace (okyselení), stejně jako zasolování je závažnou formou degradace, která vede ke snížení potenciálu produkce zemědělské půdy. Proces okyselování zabraňuje rostlinám využívat vodu, což má za následek vysychání a erozi. (Dragović & Vulević 2020)

Jako chemickou degradaci označujeme také kontaminaci půd znečišťujícími látkami pocházejícími z průmyslové aktivity, těžby, nelegálních a špatně spravovaných skládek, ze skladování chemikálií (náhodné nebo úmyslné úniky chemikálií). Bohužel neexistují relevantní celosvětové údaje o hodnocení kontaminace půdy (celková plocha znečištění, druh znečišťující látky, počet obyvatel vystavených kontaminaci, poškození životního prostředí atd.), neboť neexistuje společná metodika pro jejich stanovení v jednotlivých zemích. Podle Dragović & Vulević (2020), patří mezi nejvýznamnějšími důsledky kontaminace půd ohrožení zdraví lidí žijících ve znečištěných oblastech, kontaminace povrchových i podzemních vod, ztráta biodiverzity a biologické aktivity a ztráta úrodnosti půdy, a to hlavně kvůli narušení koloběhu živin. Evropská agentura pro životní prostředí (EEA) odhaduje, že 60 % evropské půdy je znečištěno průmyslovými aktivitami. Mezi nejčastější škodlivé polutanty patří těžké kovy (37 %) a minerální oleje (33 %). Počet kontaminovaných lokalit se rovná

jedné třetině zemí Evropské unie, přičemž nejvyšší počet monitorovaných kontaminovaných lokalit (422) je v Srbsku (GIZ 2017). Znečištěné půdy je možné revitalizovat formou sanace, při které se nejčastěji znečištěná půda vytěží a zpracuje. Na méně znečištěných místech je možné využít tzv. remediaci rostlin, kdy jsou polutanty navázány do rostlinných těl a ty jsou pak z lokality sklizeny a odstraněny. (Panagos et al. (2015)

Dle Hrušky et al. 2021: „*Kontaminace půd je významným typem degradace půdy v měřítku celosvětovém i v evropském. V rámci materiálu EU „Soil Thematic Strategy“ je řazena k nejvýznamnějším degradačním procesům.*“ Výzkumy potvrdily, že v rámci evropských zemí jsou půdy podobně zatěžovány. Významnými kontaminanty půd jsou imise (průmysl, doprava), dále lokální zdroje jako jsou odpadní vody, nezabezpečené skládky, aplikace agrochemikálií. V České republice mohou mít lokální kontaminace historický původ, např. báňská činnost.

Existuje mnoho toxických látek, které se mohou dostat do půdy, ovšem jejich rizikovost pro životní prostředí se liší. Je to dáno velkým spektrem chemických látek a různých druhů organismů v půdních společenstvech. (Anděl 2011) Jedná se nejčastěji o těžké kovy, rezidua pesticidů, léčiv, čistících či kosmetických přípravků. Nebezpečí těchto látek pro člověka spočívá v tom, že jsou hromaděny v biomase rostlin, která je spásána zvířaty, čímž mohou tyto látky ovlivnit kvalitu masa, mléka nebo vajec. Velmi často se jedná také o přirozeně se vyskytující látky v půdě, ovšem po zvýšení jejich koncentrace lidskou činností se stávají pro některé organismy toxickými. (FAO a OSN 2021)

Za environmentálně rizikové látky lze dle Anděla (2011) považovat především ty, u kterých jsou současně splněny dvě základní podmínky:

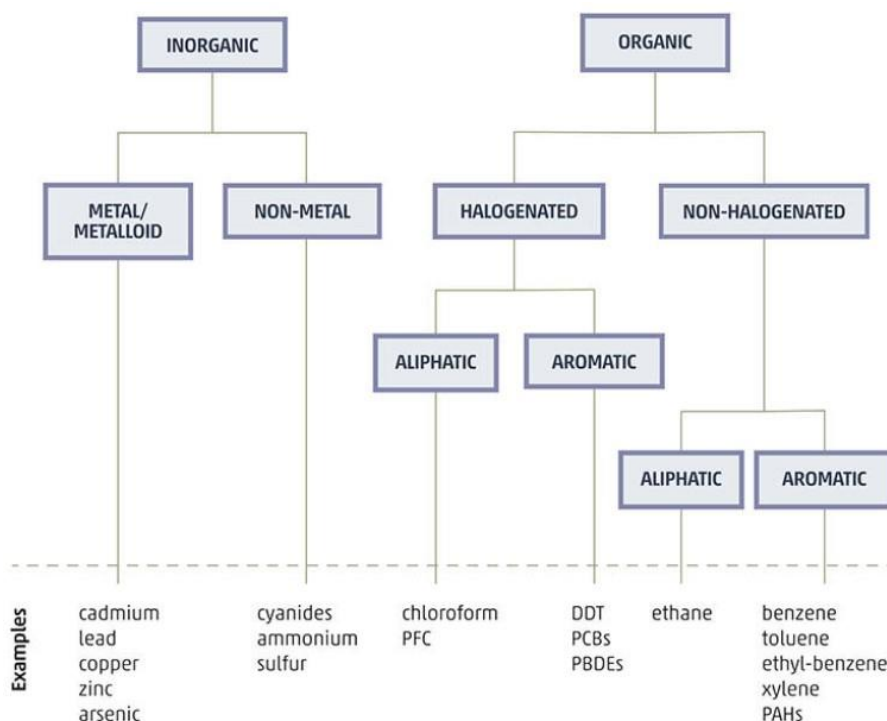
- 1. potenciální nebezpečnost** – jsou to látky toxické již v nízkých koncentracích, které jednoduše pronikají do organismu; jedná se často o karcinogenní nebo teratogenní látky,
- 2. dostatečný výskyt v životním prostředí** – látka se musí vyskytovat v prostředí v takovém množství, které již citelně zasáhne do životaschopnosti populací či společenstev a ovlivní tak celý biosystém. (Anděl 2011)

Z toho plyne, že ne vždy dochází přítomností toxických látek v prostředí k negativním vlivům na ekosystém. Navíc organismus v daném přírodním prostředí bývá často ovlivňován více toxikanty. (Anděl 2011)

Látky, které v půdě působí jako environmentální kontaminanty, a které potenciálně způsobují nebezpečí, jsou buď anorganické nebo organické sloučeniny. Obrázek č. 5 ukazuje systematický přehled některých nejběžnějších kontaminantů půd podle jejich chemických vlastností. (FAO a OSN 2021)

Nejčastěji se vyskytující anorganické kontaminanty půdy jsou stopové prvky jako arsen, kadmium, chrom, měď, rtuť, olovo, mangan, nikl, zinek a radionuklidy. Navzdory přirozenému výskytu stopových prvků může dojít k ohrožení životního prostředí a lidského zdraví, pokud jsou tyto prvky přítomny v takových koncentracích anebo v takové chemické formě, která je pro živé organismy toxická. Anorganické kontaminanty jsou přirozeně perzistentní a mohou se vyskytovat v mnoha různých formách, jako jsou soli, oxidy, sulfidy nebo organokovové

komplexy. Také mohou být přítomny ve formě iontů rozpuštěných v půdním roztoku v závislosti na pH půdy. Stopové prvky, na rozdíl od organických polutantů, nemohou být metabolicky degradovány některými organismy. (FAO a OSN 2021)



Obrázek č. 5: Kategorizace hlavních polutantů vyskytujících se v půdách (FAO and UNEP 2021).

Výjimečností stopových prvků je jejich potenciál existovat jako různé formy (např. různé oxidační stavy) a také jejich sklon k tvorbě biologicky dostupných kovovo-organických sloučenin (např. methylrtuť nebo tetramethyl-olovo), což udává biologickou dostupnost a toxicitu.

Dalšími anorganickými polutanty vyskytujícími se v půdě jsou radionuklidy. Pochází buď z přírodních procesů, jako je zvětrávání matečné horniny a sopečné erupce, nebo z antropogenních činností, jako byla v minulosti těžba radia a uranu, používání radioaktivních fosfátů a kobaltových rud, testy jaderných zbraní nebo nehody těchto zbraní. Klíčový rozdíl mezi znečištěním stopovými prvky a radionuklidy je v tom, že nepříznivé účinky stopových prvků jsou spojeny s chemickými reakcemi probíhajícími v živých buňkách, zatímco radionuklidy mohou poškodit živé buňky emitovaným zářením způsobeným radioaktivním rozpadem.

Naproti tomu organické kontaminanty jsou sloučeniny na bázi uhlíku, mnohé antropogenního původu, ale v menší míře také sloučeniny pocházející z přírodních procesů, jako jsou požáry nebo sopečné erupce. Syntetické organické kontaminanty mohou být vyráběny pro specifická použití, jako jsou pesticidy nebo jako průmyslové chemikálie či meziproducty, jako jsou polychlorované bifenyly nebo jiné halogenované organické látky a těkavé organické látky, jako je benzen, toluen a chloroform. Organické kontaminanty mohou být také

produkovány neúmyslně jako vedlejší produkty, kam patří např. průmyslové emise, často z těžebního a ropného průmyslu, které uvolňují polycyklické aromatické uhlovodíky.

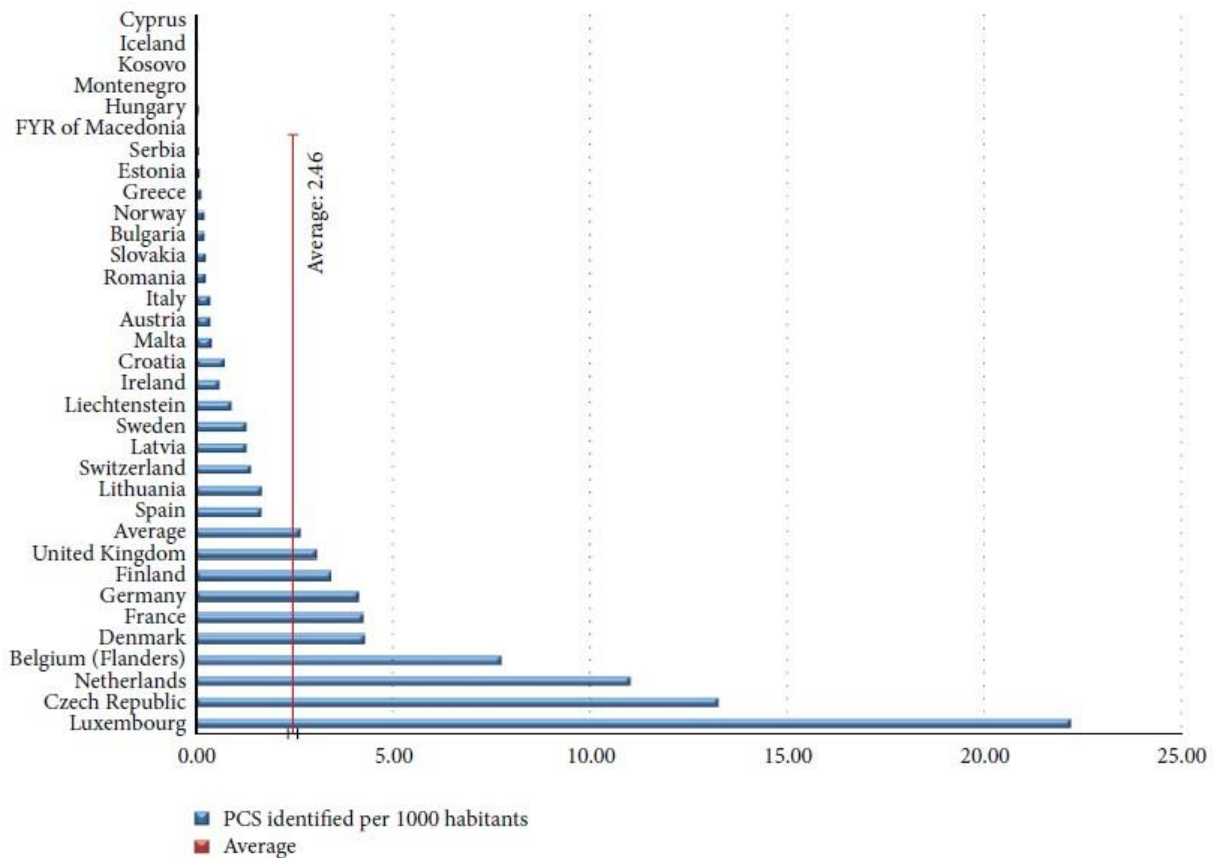
Některé organické kontaminanty jsou těžké a mnohé mají nízkou rozpustnost ve vodě, což má za následek vysoký absorpční potenciál pro lipidy. Mohou také tvořit stabilní vazby s lipidy a sacharidy v tkáních organismů a s organickým materiálem v půdě. Některé organické kontaminanty (konkrétně některé agrochemikálie) jsou navrženy tak, aby byly rozpustné ve vodě a tvořily ve vodě rozpustné ionty. Další ekologicky relevantní charakteristikou mnoha organických kontaminantů je perzistence v životním prostředí a potenciální toxikologické účinky. Kontaminant je považován za perzistentní, pokud je jeho poločas rozpadu alespoň 60 až 120 dní ve vodě (mořská voda a sladká voda) nebo 120 až 180 dní v půdě (ECHA 2017).

Zvláštní kapitolu představují kontaminanty, které nebyly dříve v životním prostředí monitorovány, ale kvůli potenciální toxicitě nebo riziku pro zdraví lidí a životního prostředí vzbuzují ve světě obavy. Jedná se o syntetické nebo přirozeně se vyskytující chemikálie jako jsou léčiva a produkty osobní péče společně s jejich rezidui, plasty a syntetické polymery a např. také nanoměry. (FAO a OSN 2021)

V Evropě se kontaminované půdy nachází hlavně v blízkosti skládek odpadu, průmyslových oblastí zpracovávajících nebo používajících při výrobě těžké kovy, lokalit ropného průmyslu, vojenských táborů a jaderných elektráren. Postupně jak evropská společnost bohatla, vytvářela stále více odpadu. Každý rok se v EU vyhodí 3 miliardy tun pevného odpadu (přibližně 90 milionů tun je z toho nebezpečných), což představuje asi 6 tun pevného odpadu na každého muže, ženu i dítě. Hlavní antropogenní zdroje těžkých kovů pocházejí z různých průmyslových aktivit, jako jsou například současné i bývalé těžební oblasti, slévárny, hutě nebo doprava související s průmyslovou a lidskou činností. (FAO a OSN 2021)

V roce 2013 prezentovali Panagos et al. (2013) výsledky studie, při které byla shromážděna současná data o kontaminovaných půdách v Evropě. Prezentované výsledky byly získány analýzou údajů o kontaminovaných půdních lokalitách, které předložily samotné zúčastněné země. Jejich úkolem bylo krom jiného označit jak přímo kontaminované lokality, tak potenciálně kontaminovaná místa. Podle obdržovaných údajů byl počet kontaminovaných míst mnohem nižší než počet odhadovaných potenciálních kontaminovaných lokalit. Identifikovaných kontaminovaných lokalit bylo okolo 342 tisíc a potenciálně kontaminovaných lokalit bylo odhadnuto více než 2,5 milionu. Ze zprávy vyplynulo, že ke kontaminaci půdy nejvíce přispívají komunální a průmyslové odpady (38 %), následované průmyslovým a komerčním sektorem (34 %), dále se na kontaminaci půd podílí skladování různých kontaminantů (10,5 %), ostatní odvětví přispívají 19,1 %. Jaderný průmysl se podílí pouze 0,1 %, nicméně nebyla získána data ze všech jaderných elektráren. Za hlavní kontaminanty byly označeny minerální oleje a těžké kovy, které přispívají ke kontaminaci půdy asi 60 %. Jak autoři uvádějí, tato studie představuje celkový obraz kontaminovaných lokalit v Evropě a nezaměřuje se na jednotlivé země. Množství potenciálně kontaminovaných míst (PCS) v jednotlivých zemích ukazuje obrázek č. 6. V těchto lokalitách je podezření na

určitou míru kontaminace půdy, která ale není empiricky ověřena a jednotlivé země by se na tato místa měla zaměřit. (Panagos et al. 2013)



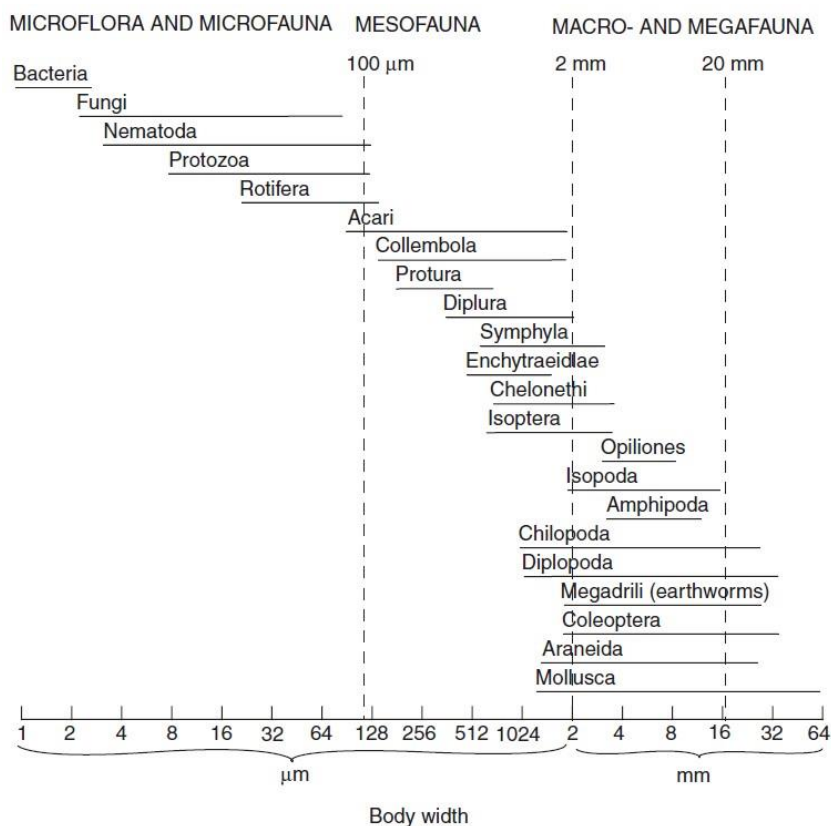
Obrázek č. 6: Hustota potenciálně kontaminovaných míst (PCS) v jednotlivých zemích (1 PCS/1000 obyvatel). (Panagos et al. 2013)

Zvláštní důraz byl kladen na průmyslová a komerční odvětví způsobující kontaminaci půdy, a proto byly v rámci průzkumu jednotlivé země požádány, aby v každém konkrétním průmyslovém odvětví přidělily procenta, která přispívají ke kontaminaci půdy. Odpovědi 17 zemí pokrývajících 44 % celkové studované populace naznačovaly, že produkční sektor přispívá ke kontaminaci půdy přibližně 60 %, zatímco sektor služeb má podíl 33 % a těžební sektor přispívá přibližně 7 %. Bližší pohled na výrobní sektor ukazuje, že textilní, kožedělný, dřevozpracující a papírenský průmysl mají pro lokální kontaminaci půdy menší význam (cca 5 %), zatímco nejčastěji bývá jako významný zdroj kontaminace uváděn kovoprůmysl (13 %), dále se řadí chemický průmysl (8 %), ropný průmysl (7 %) a výroba energie (7 %). (Panagos et al. 2013)

3.3 Edafon

Zatímco o vývoji rostlinných společenstev během primární sukcese a pedogeneze je známo mnoho, o vývoji společenstev půdních mikrobů a půdní fauny je toho známo mnohem méně. Během primární sukcese se rostlinná společenstva několikrát obměňují. Naproti tomu pro vývoj společenství půdní fauny je charakteristická progresivní kumulace druhů, přičemž mnoho z prvotních druhů osidlujících půdu zůstává během jejího vývoje. Obecně platí, že velikost a diverzita půdních biotických společenstev během prvních 20–50 let rychle roste a poté se víceméně stabilizuje po stovkách let, zatímco rostlinná biomasa a obsah organické hmoty v půdě nedosahují vrcholu ani po stovkách či tisících let. Vývoj společenstva půdní fauny je pomalejší než u mikrobiálních společenstev, protože mikroby se šíří rychleji. Navíc některé druhy fauny vyžadují určitou hloubku organické vrstvy půdy k vývinu vyšších populací. S přibývajícím časem se potravní řetězec (založený na organickém detritu) stává stále složitějším. (Haynes 2014)

Podle Nortcliff et al. organický materiál půdy tvoří 85 % posmrtných substancí, 10 % kořeny rostlin, 4 % bakterie a houby a 1 % půdní fauny. Půdní degradaci obstarávají z 90 % bakterie a houby, zatímco půdní živočichové jsou zodpovědní pouze za 10 %. Půdní živočichové jsou však vysoce efektivní při urychlování mikrobiální degradace, čímž mohou zvýšit dostupnost živin až o 50 %. Terénní studie ukázaly, že snížení jejich počtu snižuje degrační výkon půdy až o 40 %. Nortcliff et al. (2006) dále uvádí, že jednobuněčné organismy, červi a členovci tvoří každý jednu třetinu půdní biomasy.



Obrázek č. 7: Klasifikace půdních organismů podle velikosti. (Coleman & Wall 2007)

V rámci svého biotopu tvoří půdní organismy společenství známé jako edafon. Edafon se nejčastěji dělí podle velikosti a způsobu života organismů. Podle morfologické velikosti se edafon dělí na mikroflóru (bakterie, houby, řasy), mikrofaunu (prvoci), mezofaunu (např. háďátka, roztoči, pancířníci, chvostokoci), makrofaunu (plži, žížaly, hmyz a jejich larvy) a megafaunu (obratlovci). Tento způsob rozdělení ilustruje obrázek č. 7. Podle způsobu života rozlišujeme skupiny organismů, které si zahrabáváním a promícháváním půdy vytvářejí vlastní životní prostředí. Patří sem především zástupci makrofauny a megafauny, kteří vytvářejí v půdě dutiny a chodbičky. Další skupinou jsou živočichové závislí na půdních pórech obsahujících vzduch, mezi kterými se pohybují. Mikroflóra a velká část mezofauny je přizpůsobena životu v půdní vodě. K přisedlému edafonu pak patří bakterie a houby, které pokrývají stěny pórů nebo pronikají do půdních dutin. (Nortcliff et al. 2006)

Množství a aktivita organismů není v půdě náhodná, ale mění se v půdním profilu horizontálně i vertikálně. Různé skupiny organismů vykazují různé prostorové vzorce, protože každý organismus reaguje na půdní podmínky jiným způsobem (Klironomos et al. 1999). Mnohé studie prokazují, že tato prostorová heterogenita bývá vyšší v méně člověkem narušených ekosystémech (Paul 2007).

Početnost a biomasa většiny půdních organismů je nejvyšší v horní vrstvě půdy (0–10 cm) a klesá s hloubkou souběžně s obsahem organické hmoty a dostupností potravy. Podle Frey (2007) se přibližně 65 % celkové mikrobiální biomasy nachází v horních 25 cm půdního profilu. Pod touto hloubkou mikrobiální hustota postupně klesá o 1–3 řády. Hustota houbových a kolonizace kořenů mykorrhizními houbami výrazně klesá pod 20 cm povrchu a spory mykorrhizních hub se většinou už nenacházejí pod zónou zakořenění rostlin. Počet zástupců mikrobiální fauny rovněž s hloubkou klesá, a často rychleji než jejich bakteriální nebo houbová kořist. (Frey 2007)

Složení půdních společenstev se také liší mezi různými ekosystémy. Například v jehličnatých lesních půdách převažují houby, protože pouze ty mají enzymatické mechanismy potřebné k účinnému rozkladu dřeva. V narušených ekosystémech a některých travních porostech zase mají tendenci převládat bakterie. Z několika studií vyplývá, že se složení společenstev půdních mikrobů mění při změně rostlinného porostu. Podstatné změny v mikrobiální komunitě mohou způsobit také environmentální faktory jako je sucho, vlhko a další sezónní změny. (Schimel 2007)

Půdní flóra a fauna obecně vnáší do půdního systému organický materiál. Téměř 100 % elementárního složení tvoří uhlík, kyslík, vodík, dusík a síra. Hlavním významem půdy je interakce základních ekologických procesů. Půda je tedy nezbytným základem pro všechny životní procesy. (Nortcliff et al. 2006) Z celého edafonu se největší měrou podílejí na biogeochemickém koloběhu živin, syntéze a rozkladu humusu, agregaci půdy, stabilizaci a mobilizaci a přenosu minerálních živin z půdy do rostlin mikroorganismy (bakterie, aktinomycety, houby, řasy, prvoci), které ovlivňují půdní strukturu a úrodnost. Populace těchto mikrobů je nejvyšší v rhizosférické zóně než v jiných zónách kvůli produkci látek podporujících růst rostlinami. Půdní mikroorganismy rozkládají různé organické materiály a

využívají část těchto produktů k vytváření nebo syntéze řady sloučenin, mezi které tvoří humus, polysacharidy, nehumínové látky a humin. Tyto materiály ovlivňují fyzikální, chemické a biochemické vlastnosti půdy mnoha způsoby. Například humus zlepšuje texturu a strukturu půdy, přispívá k její pufrovací kapacitě a zvyšuje schopnost půdy zadržovat vodu. Autotrofních bakterií je v půdě více ve srovnání s heterotrofními bakteriemi, protože autotrofní získávají energii tím, že si vytvářejí vlastní potravu oxidací (např. *Nitrobacter* sp.). Tyto bakterie hrají důležitou roli při fixaci dusíku. Bakterie jsou jednou z hlavních skupin organismů v půdě. V dobře provzdušněných půdách dominují bakterie i houby, zatímco bakterie samotné jsou zodpovědné za téměř všechny biologické a chemické změny v prostředí obsahujícím málo nebo žádný kyslík. Množství mikrobiální populace se mění v závislosti na půdních podmínkách, jako je struktura půdy, pH a další parametry prostředí. Půdní mikrobiální aktivitu ovlivňují také chemická hnojiva, organické úpravy a další pěstitelské postupy, jako je aplikace chemikálií na ochranu rostlin. Tato chemická hnojiva by mohla ovlivnit množství a kvalitu mikrobiální populace. (Talwar & Chatli 2018)

Kromě množství a aktivity se v půdním profilu mění také složení a diverzita mikrobiálních společenstev. Fierer et al. (2003) uvádí, že počty gramnegativních bakterií, hub a prvoků jsou nejvyšší na povrchu půdy, zatímco množství grampozitivních bakterií a aktinomycet má tendenci se zvyšovat úměrně s rostoucí hloubkou. Mykorhizní druhy se mění podél vertikálního gradientu, liší se v preferenci organických nebo minerálních půdních vrstev. (Frey 2007)

3.3.1 Fytoedafon

Mikroflóra půdy je nedílnou součástí půdní organické hmoty. Půdní bakterie a houby jsou začátkem půdní potravní sítě, která podporuje jiné organismy. Bakterie tvoří nejhojnější skupinu mikroorganismů v půdě a populace hub v půdách tvoří velmi heterogenní skupinu organismů. Mezi významné půdní bakteriální rody patří *Nocardia*, *Streptomyces* a *Micromonospora*, které se řadí do řádu aktinomycet (aerobní i heterotrofní). Tyto bakterie jsou schopny degradovat mnoho složitých organických látek a hrají tak důležitou roli při budování úrodnosti půdy. Půdní potravní síť je propojená matrice neviditelných organismů (houby, bakterie, prvoci, hád'átka) a viditelných tvorů (žížaly, brouci, členovci), kteří mají celou řadu funkcí vytvářejících zdravý ekosystém pro růst rostlin. Z výzkumů vyplývá, že se mnohem více bakteriálních populací vyskytuje ve rhizosféře ve srovnání s nerhizosférou a jedná se především o rody *Bacillus* a *Micrococcus*. Významnou roli v půdě hrají také bakterie se schopností vázat dusík, patří mezi ně např. rod *Azotobacter*, *Azospirillum* a *Rhizobium*. Mikroorganismy fixující dusík jsou celosvětově pozoruhodné díky tomu, že poskytují pouze přirozený biologický zdroj fixovaného dusíku v biosféře. Podobně také houby se vyskytují hlavně ve rhizosféře a jedná se nejčastěji o rody *Penicillium*, *Fusarium* a druhy *Aspergillus niger*, *Aspergillus fumigatus*. (Talwar & Chatli 2018)

3.3.2 Zooedafon

Půdní živočichové, další skupina hlavních heterotrofů v půdních systémech, mohou být považováni za facilitátory bakteriální a houbové aktivity a diverzity v půdách. Existují v potravním řetězci na několika trofických úrovních. Někteří jsou býložravci, protože se živí přímo kořeny živých rostlin, ale většina se živí mrtvou rostlinnou hmotou (saprofyté) nebo živými mikroby s ní spojenými, nebo kombinací obou. Dále se zde vyskytují masožravci, paraziti nebo špičkoví predátoři. Živočišní zástupci půdní bioty jsou četní a různorodí a zahrnují zástupce všech suchozemských kmenů. (Coleman & Wall 2007) Hrubé odhady biologické rozmanitosti půdy naznačují, že se na jedné lokalitě může vyskytovat až několik tisíc druhů bezobratlých, úrovně mikrobiální a prvokové diverzity jdou ještě výše. Předpokládá se, že půdní biota je útočištěm velké části světové biologické rozmanitosti a řídí procesy, které jsou považovány za globálně důležité složky v recyklaci organických látek, energie a živin. (Menta 2012)

Zooedafon je velmi variabilní a většina jeho zástupců je také vysoce adaptabilní, pokud jde o jejich krmné strategie. V závislosti na dostupných zdrojích potravy je mnoho půdní fauny schopno ve větší či menší míře měnit své potravní strategie, přičemž mnoho masožravých druhů se dokáže živit mrtvou organickou hmotou v době nízké dostupnosti potravy. Interakce mezi půdní faunou jsou četné, složité a rozmanité. Stejně jako vztahy predátor a kořist nebo v některých případech parazitismus či komenzalismus. (Menta 2012)

Půdní fauna může být také charakterizována stupněm přítomnosti v půdě nebo využitím půdních mikrobiotopů různými formami života. Existují přechodné druhy, například slunéčko sedmítečné (*Coccinella septempunctata*), které přezimuje v půdě, ale jinak žije na povrchu. Komáři (*Diptera*) jsou také dočasnými obyvateli půdy, protože dospělá stádia žijí nad zemí, ale vajíčka kladou do půdy a vylíhlé larvy se živí v půdě rozkládajícími se organickými zbytky. Dále třeba hlístice, které parazitují na hmyzu a broucích, tráví část svého životního cyklu v půdě. Je evidentní, že půdní potravní řetězce jsou spojeny s nadzemními systémy. (Coleman & Wall 2007)

Pro rozdělení půdní fauny se nejčastěji používá obecná klasifikace podle velikosti těla: mikrofauna, mezofauna, makrofauna a megafauna. Tato klasifikace zahrnuje rozsah od nejmenších živočichů po největší, tj. od cca 1–2 μm (mikrobičkovci) až po 2 m (obří australské žížaly rodu *Megascolides*). (Coleman & Wall 2007) Schinner et al. (1995) uvádí že největší masu mikrofauny představují jednobuněční živočichové. Typickými zástupci jsou dle něho krytenky (*Arcellinida*) a nálevníci (*Ciliophora*). Z mnohobuněčných organismů pak patří do mikrofauny kupříkladu hlístice (*Nematoda*). Běžnými skupinami půdní mezofauny jsou roupicovití (*Enchytraeidae*), roztoči (*Acari*) a chvostoskoci (*Collembola*). Makrofaunu je případné rozdělit na epigeickou a endogeickou. První skupinu zastupují nejčastěji pavouci (*Araneae*), sekáči (*Opiliones*) a brouci (*Coleoptera*). Z brouků jsou nejběžnější střevlíkovití (*Carabidae*) a drabčíkovití (*Staphylinidae*). Do druhé skupiny patří z obvyklých zástupců žížaly (*Lumbricidae*), stonožky (*Chilopoda*), mnohonožky (*Diplopoda*) nebo stejnonožci (*Isopoda*).

3.4 Významní zástupci zoedafonu na sledovaném území

Ačkoliv byla analýza odebraných vzorků zaměřena na zástupce mezo – a makrofauny, pro celkový přehled a systém edafonu byla zařazena i kapitola o obecné mikrofauně, která se nachází téměř ve všech půdách.

3.4.1 Půdní mikrofauna

Nejhojnějšími skupinami půdní mikrofauny, kam jsou řazeni živočichové s velikostí těla <100 μm , jsou prvoci (*Protozoa*), hlístice (*Nematoda*) a vířníci (*Rotifera*). Právě jejich velikost a způsob života je omezuje v aktivním pronikání půdou, a tak žijí nejčastěji v mikropórech vyplněných vodou, vodních filmech na povrchu pevných částic půdy nebo rostlin. Obecně upřednostňují prostředí bohaté na organické látky a vodu, nicméně i tak jsou velmi dobře adaptováni na dočasné vysychání. (Schlaghamerský a kol. 2020)

Živočišní prvoci jsou obecně heterotrofní, jednobuněčné organismy, kteří žijí v půdních vodních filmech a většinou se živí bakteriemi (často fagocytózou), ale jsou mezi nimi také predátoři nebo rozkladači. Hojně se vyskytují ve vrstvě opadu a v povrchové půdě. (Haynes 2014) Množství prvoků, kterých se může v půdě vyskytovat až 100 milionů jedinců na m^2 , se výrazně mění v závislosti na typu půdy, teplotě a dostupnosti vody. Rovněž druhová diverzita prvoků je jiná v různých typech biotopů. V lesních půdách se vyskytují spíše nálevníci

a krytenky, kdežto na polích nebo jílovitých půdách převládají bičíkovci a měňavky. Prvoci jsou důležitou složkou potravy pro další půdní organismy. (Schlaghamerský a kol. 2020) Volně žijící půdní prvoci patří ke dvěma kmenům: praprvoci (*Sarcomastigophora*) a nálevníci (*Ciliophora*). K nejpočetnějším a nejaktivnějším z půdních prvoků patří bičíkovci (*Mastigophora*), pro které je typický jeden nebo více bičíků jako pohybový aparát. Hrají významnou roli v trofickém řetězci a jejich hlavní kořisti jsou bakterie. (Coleman & Wall 2007)

Hlístice jsou mnohobuněčná eukaryota patřící k nejpočetnější a nejrozmanitější skupině živočichů na Zemi nalezené v jakémkoli ekosystému. Jedná se také o jednu z druhově nejbohatších skupin. V ČR bylo zaznamenáno cca 600 druhů, celosvětově až 25 tisíc druhů hlístic. Volně žijící zástupci hlístic se vyskytují ve svrchní vrstvě půdy (5-10 cm) a podobně jako prvoci obývají póry s vodou a vodní filmy. Parazitické hlístice žijí na kořenech rostlin. Nejvýznamnější zástupci hlístic patří do řádů háďata (*Rhabditida*), háďátka (*Tylenchida*), měchovci (*Strongylida*), škrkavice (*Ascaridida*) nebo spirury (*Spirurida*). (Schlaghamerský a kol. 2020, Haynes 2014)

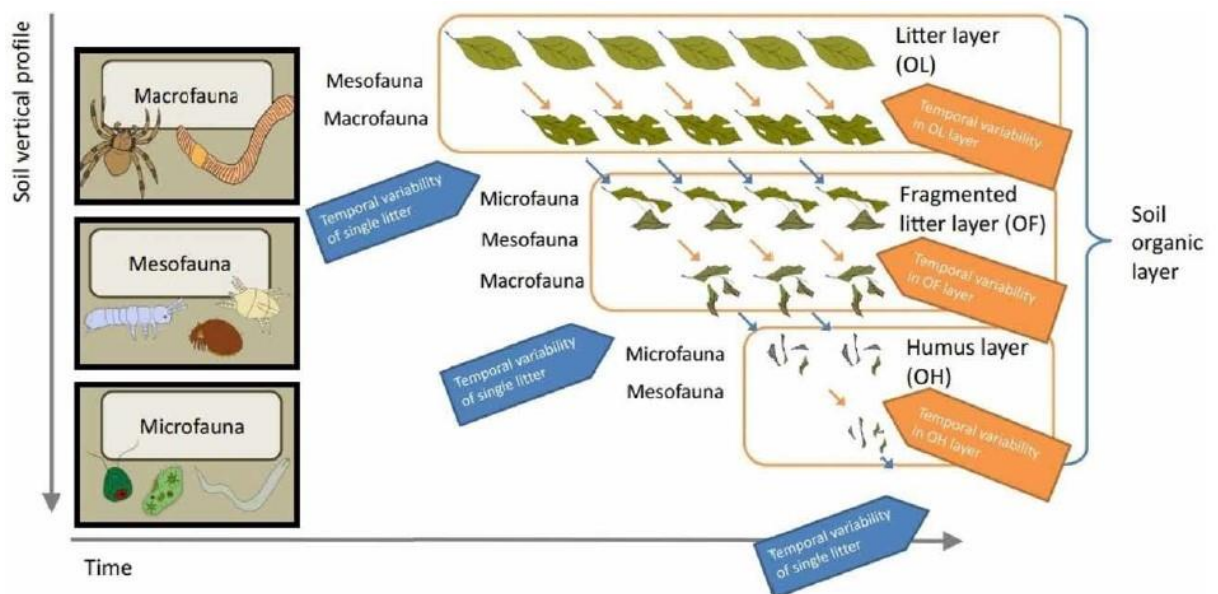
Další skupinou mikrofauny jsou vířníci, což jsou mnohobuněční mikroskopičtí živočichové, kteří žijí ve vodních filmech. Obvykle se živí bakteriemi, houbami, zelenými řasami, organickým materiálem a rostlinnými buňkami. (Haynes 2014) Tato malá skupina živočichů se často vyskytuje pouze tehdy, když v půdě existuje významný podíl vodních filmů. Více než 90 % půdních vířníků patří do řádu pijavenek (*Bdelloidea*). Vířníci, stejně

jako hlístice, se mohou dostat při nedostatku vody do vysušeného rezistentního stavu v jakékoli fázi svého životního cyklu a po odeznění špatných podmínek se rehydratují a aktivují. (Coleman & Wall 2007)

3.4.2 Půdní mezofauna

Součástí mezofauny je velké množství různých skupin živočichů vyskytujících se ve většině typů půd. Metr čtvereční lesní půdy může obsahovat až stovky tisíc jedinců představujících tisíce druhů. Zástupci mezofauny mají významný vliv na rozkladné procesy v lesní půdě a jsou významnými rezervoáry biodiverzity v lesních ekosystémech. Mnoho z nich se živí houbami a hlístitci, čímž se propojuje mikrofauna a mikrobiální společenstva s mezofaunou. Zástupci mezofauny jsou zase kořisti makrofauny. Hustota mezofauny se během ročních období v různých ekosystémech a mezi nimi liší. Obecně platí, že mírné lesní půdy

s velkým obsahem organické hmoty obsahují vysoký počet skupin mezofauny na rozdíl od tropických lesů, kde je organická vrstva velmi tenká. Hlavní část organické hmoty představují opady rostlinných listů a tato „podestýlka“ poskytuje půdní fauně potravu i stanoviště. Vlastnosti této vrstvy ovlivňují strukturu a dynamiku půdní fauny (Fujii et al. 2020), jak znázorňuje obrázek č. 8. Na množství populací má negativní vliv také obdělávání půdy a aplikace pesticidů. Nejhojněji zastupují mezofaunu skupiny roztočů (*Acari*) a chvostoskoků (*Collembola*). Mezi samotnými roztoči obvykle dominuje řád pancířníci (*Oribatida*). (Coleman & Wall 2007)



Obrázek č. 8: Vliv dynamických vlastností organické vrstvy na půdní faunu. (Fujii et al. 2020)

Chvostoscoci (*Collembola*) – jedná se o mikročlenovce s velikostí těla 0,5 - 10 mm typickým hlavním znakem zvaným collophor, což je speciální skákací aparát na zadečku. Počet druhů chvostoskoků objevených ve světě a popsáných čítá okolo 8600 a stále přibývají. V České republice bylo zaznamenáno zhruba 400 druhů (Schlaghamerský a kol. 2020) Početnost chvostoskoků je také obrovská, v jednom metru čtverečním půdy se může vyskytovat 10 až 100 tisíc jedinců a ačkoli jsou nejhojnější v půdě, nacházejí se také v bylinném patře, jeskyních nebo na hladině rybníků. V půdě jsou jednotlivé druhy distribuovány z povrchu do všech vrstev obsahujících organickou hmotu. Existují čtyři řady chvostoskoků – Entomobryomorpha, *Poduromorpha*, *Symphyleona*, *Neelipleona*, které se liší svou morfologií, která jim umožňuje žít v různých půdních vrstvách. Druhy, které žijí na povrchu půdy nebo ve svrchní opadové vrstvě, jsou větší, pigmentované a vybavené dlouhými tykadly s dobře vyvinutým skákacím aparátem. Chvostoscoci žijící v lesních půdách a ve větší hloubce bývají menší, s nepigmentovanými, protáhlými těly a mají mnohem menší skákací aparát. Většina druhů se živí mikroorganismy (houby, suchozemské mikrořasy, bakterie), nejčastěji houbovými vlákny. Některé druhy chvostoskoků konzumují odumřelé rostlinné zbytky nebo exkrementy jiných bezobratlých, jiné propichují stěny rostlin a hub a vysávají tekutiny, které obsahují. Velmi malá skupina je také dravá a napadá například háďátka, vířníky, želvušky nebo jiné druhy chvostoskoků. Chvostoscoci plní v půdě různé funkce, hlavně mají přímý a nepřímý vliv na rozklad organické hmoty a recyklaci živin. Některé druhy přispívají k fragmentaci odumřelé rostlinné hmoty a mineralizaci organické hmoty, ikdyž větší část fragmentace odumřelých rostlinných orgánů však vykonává makrofauna a mineralizaci z velké části (70-80 %) zajišťují mikroorganismy. Chvostoscoci ovlivňují koloběh živin především nepřímo, a to regulací půdních mikroorganismů (bakterií a hub). Umírněnou konzumací mikroorganismů stimulují růst jejich populací a tím také mineralizaci organické hmoty. Mohou také zabránit nadměrnému rozvoji určitých druhů, zejména patogenních hub. Konzumací fytopatogenních hub tak mohou zástupci chvostoskoků omezit houbové choroby rostlin. Stimulací rozvoje a aktivity mykorhizních hub mohou také podporovat vstřebávání fosforu kulturními rostlinami nebo regulovat kořenovou architekturu některých rostlin. (Coleman & Wall 2007, Schlaghamerský a kol. 2020)

Roztoči (*Acari*) – jedná se o drobné členovce z řádu pavoukoců (*Arachnida*), jejichž druhová diverzita je odhadována až na půl milionu druhů. Dosud bylo popsáno cca 54 600 druhů roztočů z celého světa (Schlaghamerský a kol. 2020). Roztoči jsou dominantní skupinou členovců v půdě a přispívají k tvorbě humusu. Ačkoli je role roztočů v promíchávání půdy poměrně malá ve srovnání s většími bezobratlými, jako jsou žížaly, hmyz, korýši a mnohonožky, roztoči plní důležitou funkci při přeměně minerálů, vegetační sukcesi a jako rozkladači organické hmoty. V horních vrstvách půdy lze nalézt hustoty 50 až 250 tisíc jedinců na metr čtvereční. Na malém území, kde je půda bohatá na organický materiál (rozkládající se vegetace, trus nebo zbytky zvířat), lze nalézt desítky druhů. V kombinaci s mikroflórou, kterou mohou roztoči rozptýlit, půdní roztoči pomáhají při rozkladu organické hmoty, kterou nemohou strávit. Potravní strategie roztočů jsou velmi různorodé. Jsou mezi nimi skupiny saprofágů, predátorů i druhy vysávající hyfy hub. Nejpočetnější skupinou roztočů vyskytujících se v půdě jsou pancířníci. (Schlaghamerský a kol. 2020)

Pancířníci (*Oribatei*, *Oribatida*) – jsou podřádem roztočů a jejich název je odvozen od zpevněné kutikuly, která je tvořena „pancířky“. Jejich velikost se pohybuje od 0,2 do 1,4 milimetrů. Pancířníci žijí v půdách, živí se houbami, bakteriemi a půdními částicemi, čímž jsou nepostradatelní při rozkladných procesech. Pomáhají tak při koloběhu živin a přispívají k tvorbě půdy. Lze je nalézt také ve vodním prostředí nebo v korunách stromů. Vyskytují se po celém světě, od lesů po pouště i podél břehů oceánů. Jsou často nejhojnějšími zástupci mezofauny v půdách. Do současné doby bylo objeveno okolo 12 000 druhů, ale odborníci odhadují jejich diverzitu na 60 až 120 tisíc druhů. Počet druhů pancířníků nalezených v jakékoli lokalitě se liší v závislosti na řadě faktorů, patří mezi typ vegetace v dané lokalitě, klima, množství vlhkosti v půdě, pH půdy, koncentrace půdních živin a úroveň znečištění půdy. Různé druhy pancířníků preferují různé podmínky, někteří upřednostňují půdu se spoustou živin, zatímco jiní půdu s nízkým obsahem živin. V závislosti na prostředí mohou pancířníci dosáhnout obrovských počtů – až 500 tisíc jedinců na metr čtvereční v lesní půdě. (Coleman & Wall 2007) Jeden z důvodů, proč byli pancířníci determinováni zvláště, je kvůli dobré determinaci pod mikroskopem a dle Feketeové et al. (2021) je lze využít jako bioindikátory měnícího se půdního prostředí.

Roupice (*Enchytraeus*) – spadají pod kmen kroužkovců, jedná se o drobné suchozemské a vodní červy, hojně využívané akvaristy jako krmivo pro ryby. Tato skupina malých nepigmentovaných červů se skládá se z přibližně 600 druhů ve 28 rodech. Druhy z 19 těchto rodů se nacházejí v půdě, zbytek se vyskytuje především v mořských a sladkovodních biotopech. Různé druhy roupic se vyskytují po celém světě, od subarktických do tropických oblastí. Roupice jsou 10 až 20 mm dlouhé a anatomicky podobné žížalám. Živí se hlavně rozmělněnými rostlinnými materiály, často obohacenými houbovými hyfami a bakteriemi. Stejně jako u několika dalších členů půdní mezofauny je pravděpodobně důležitou součástí potravy těchto tvorů smíšená mikroflóra, která se vyskytuje na rozkládající se organické hmotě, ať už v opadu nebo na kořenech. Zbývající části organické hmoty se po procesech přijímání, trávení a asimilace stávají součástí pomalu se měnící zásoby půdní organické hmoty. Hustoty roupic se pohybují od jednoho tisíce jedinců na metr čtvereční v intenzivně obdělávané zemědělské půdě až po 140 tisíc jedinců na metru čtverečním v rašelinistích. Vertikální rozšíření roupic v půdě souvisí s horizonty organické hmoty. Až 90 % populací se vyskytuje v horních vrstvách na lesních a neobdělávaných zemědělských půdách. Bylo prokázáno, že roupice mají významný vliv na dynamiku půdní organické hmoty a na fyzikální strukturu půdy. Rozklad vrstvy opadu a mineralizace živin je ovlivněn především interakcemi s půdními mikrobiálními společenstvy. Roupice, které se živí houbami a bakteriemi, mohou zvýšit mikrobiální metabolickou aktivitu, urychlit uvolňování živin z mikrobiální biomasy a změnit druhové složení mikrobiálního společenství. Bylo také zjištěno, že roupice významně ovlivňují strukturu půdy produkcí exkrementů. Podobně jako žížaly se také podílejí na pórovitosti půdy. (Schlaghamerský a kol. 2020; Coleman & Wall 2007)

Vidličnatky (*Diplura*) – jedná se o skupinu slepých, většinou nepigmentovaných půdních členovců patřících pod kmen šestinozů. Jejich název je odvozen od charakteristického páru ocasních přívěsků na koncové části těla. Velikost vidličnatek se pohybuje od 2 do 50 milimetrů. Běžně se vyskytují ve vlhké půdě, vrstvě opadu nebo v humusu. Živí se

rozmanitou živou kořistí a mrtvou organickou hmotou. Některé druhy jsou fytofágní, jiné také dravé. V půdě se pohybují velmi rychle. Vidličnatky se vyskytují téměř na všech kontinentech. Jsou důležitým ukazatelem antropogenního dopadu na kvalitu půdy. (Coleman & Wall 2007)

Hmyzenky (*Protura*) – patří do stejné třídy jako vidličnatky a chvostoskoci. Jedná se o velmi malé, 0,6 až 1,5 mm dlouhé, bezobratlé živočichy žijící v půdě. Nemají oči, křídla ani tykadla a postrádají pigmentaci. Hmyzenky se vyskytují po celém světě především v půdě, listí, mechu a rozkládajícím se dřevě. Byly také nalezeny v norách zvířat, na loukách a zemědělských půdách. Živí se především mykorrhizními houbami a mrtvými roztoči. V současné době je po celém světě popsáno více než 500 druhů hmyzenek. (Schlaghamerský a kol. 2020; Coleman & Wall 2007)

Mnohonožky (*Diplopoda*) – jedná se o skupinu členovců s délkou těla od 2 do 350 mm, která se vyskytuje v opadu a svrchní vrstvě půdy. Tělo mnohonožek se skládá z mnoha segmentů. První čtyři hrudní segmenty mají každý jeden pár nohou, ale následující břišní segmenty mají vždy dva páry. Typické pro mnohonožky je jejich chování při útoku predátora – stočí se do klubíčka a některé druhy vypouštějí jedovaté nebo páchnoucí látky. Bylo popsáno okolo 12 000 druhů mnohonožek, mnoho z nich žije i hluboko pod zemí a v jeskyních. Jejich početnost v prostředí je závislá na vlastnostech prostředí a kolísá od několika jedinců až po několik stovek jedinců na metr čtvereční. Obývají všechny kontinenty kromě Antarktidy. Většina druhů mnohonožek jsou býložravci nebo mrchožrouti, kteří žijí převážně z rozkládající se rostlinné a živočišné hmoty ve vlhkých mikrohabitatech. Rozměňováním rostlinného materiálu přispívají k první fázi jeho rozkladu. Preferují potravu s vysokým obsahem vápníku a nízkým obsahem polyfenolů. Některé větší druhy mnohonožek jsou masožravé a loví hmyz. Najdeme taktéž mezi mnohonožkami i několik významných škůdců zemědělských plodin (*Xenobolus carnifex*). Mnohonožky hrají důležitou roli v ekosystému a dokázaly se přizpůsobit životu po celém světě. Uvádí se, že jsou vůbec jedním z prvních suchozemských živočichů, kteří se vyvinuli a poprvé objevili na Zemi před více než 400 miliony let. (Schlaghamerský a kol. 2020; Coleman & Wall 2007)

Stonožky (*Chilopoda*) – jedná se o dravé členovce se zploštělým segmentovaným tělem s délkou od několika milimetrů až do 30 centimetrů, proto mohou být řazeny také do makrofauny. Stonožky jsou noční tvorové, den tráví na vlhkých, tmavých místech, pod listím, hnijícími kmeny, kůrou nebo kameny. Na celém světě existuje více než 3000 druhů stonožek, ale odhaduje se existence nejméně 8000 druhů. Stonožky žijí v opadu, hlubších vrstvách půdy a často se nacházejí podobně jako mnohonožky i pod kůrou padlého dřeva a pařezů. Od mnohonožek se liší tím, že na jednom tělním článku mají jen jeden pár končetin, zatímco mnohonožky mají páry dva a jejich tělo je zploštělé oproti kulatému tělu mnohonožek. Stonožky se vyskytují v celé škále ekosystémů a jejich početnost v půdě a vrstvě opadu kolísá od 20 do 300 jedinců na metr čtvereční. Stonožky jsou dravé a jejich nejčastější kořistí jsou zejména jiní půdní a epigeičtí bezobratlí včetně žížal. Půdní stonožky vytvářejí v půdě chodbičky střídavým roztahováním a stahováním těla stejně jako žížaly a napomáhají tak prokypřování zeminy. Mezi nejznámější půdní stonožky patří zástupci řádu *Geophilomorpha*. (Schlaghamerský a kol. 2020; Coleman & Wall 2007)

Stonoženky (*Symphyla*) – jde o méně známou skupinu slepých, nepigmentovaných členovců podobnou stonožkám. Velikost těla dosahuje od 2 do 30 milimetrů. Žijí hlavně v půdě, kde vzhledem k jejich velikosti využívají k pohybu různé mezery, kořenové otvory či chodbičky červů. Vyskytují se také v rozkládajícím se dřevě, pod kůrou a v dalších vlhkých mikrobiotopech. Živí se především houbami a rozkládající se vegetací, ale mohou škodit i v zemědělském prostředí konzumací semen a kořenů rostlin. Na světě je známo okolo 400 druhů. Některé z nich jsou všežravé, jiné býložravé a jeden druh je dravý. (Schlaghamerský a kol. 2020; Coleman & Wall 2007)

3.4.3 Půdní makrofauna

Do této skupiny řadíme větší hmyz, pavouky, brouky a další členovce, jejichž délka těla se pohybuje od zhruba 10 milimetrů do 15 centimetrů. Skupina zahrnuje směs různých tříd, řádů a čeledí členovců. Makročlenovci jsou významnou složkou půdních ekosystémů a jejich potravních sítí. Liší se od svých menších příbuzných tím, že mohou mít přímý vliv na strukturu půdy. Zejména termity a mravenci jsou důležitými hybateli půdy, kteří ukládají části spodních vrstev na vrstvu opadu. Tito a další makročlenovci jsou součástí skupiny, která bývá označena jako ekologičtí inženýři. Mnoho zástupců makrofauny je přechodnými či dočasnými obyvateli půdy, a tak tvoří spojení mezi potravními řetězci v bylinném patře a půdě. Makročlenovci často ovlivňují početnost půdní mikrofauny, například chvostokoci a jiní drobní členovci jsou důležitou potravou pro pavouky, zejména pro nedospělá stádia. Dále mají makročlenovci hlavní vliv na proces rozkladu, čímž ovlivňují rychlost koloběhu živin v půdních systémech. Rozklad mršiny obratlovců je z velké části prováděn působením hmyzu žijícím v půdě. (Frey 2007)

Suchozemští stejnonožci (*Isopoda*) – patří do monofyletického řádu *Oniscidea* a jsou jedinou skupinou korýšů, která se plně přizpůsobila k životu na souši. Jedná se o řád korýšů s více než 3 tisíci popsányými druhy a toto číslo se nadále zvyšuje. Velikost suchozemských stejnonožců se pohybuje od 1,5 mm do 60 mm, ale většina nepřesáhne 20 mm. Vyskytují se ve svrchní vrstvě půdy, pod kameny nebo padlými kmeny. K našim nejhojnějším zástupcům patří stínky (stínka zední – *Oniscus asellus*) a svinky (*Armadillidium* sp.). Žijí v široké škále suchozemských biotopů. Některé druhy jsou synantropní, mohou žít v symbióze s mravenci či termity. Obecně se živí odumřelým rostlinným materiálem, bakteriemi, mechem, mikroskopickými houbami i mrtvou živočišnou hmotou. Mohou být kořistí mnoha predátorů, od brouků po lišky, a dokonce i některé druhy sov. Vzhledem k tomu, že se většina stejnonožců významně podílí na rozkladu organické hmoty, jsou důležitou součástí ekosystému jako detritivoři, kteří pomáhají při rozkladu vegetace, a jako kořist pro ty, co jsou v potravním řetězci výše. Je také známo, že stejnonožci odstraňují těžké kovy z půdy, zejména měď, kadmium, olovo a zinek. (Schlaghamerský a kol. 2020)

Pisivky (*Psocoptera*, *Psocodea*) – drobný okřídlený nebo i bezkřídlý hmyz spadající pod řád *Psocodea* původně *Psocoptera*. V současnosti je popsáno více než 5500 druhů pisivek a patří mezi také parazitické vši, které napadají člověka. Většina ale pisivek patří k lesnímu hmyzu. Jejich velikost se pohybuje v rozmezí od 1 do 10 milimetrů. Obecně žijí ve vlhkém

suchozemském prostředí (opad, pod kameny, na vegetaci, pod kůrou stromů), kde se živí řasami, lišejníky, houbami a organickým odpadem. Vzhledem k tomu, že jsou pisivky detritovorní, mají vliv na prostředí, ve kterém žijí, zejména tam, kde je nižší hustota dravých mikročlenovců, kteří se pisivkami živí. (Schlaghamerský a kol. 2020; Coleman & Wall 2007)

Larvy dvoukřídlých (*Diptera*) – lidově taktéž označovány jako „mouchy“. Dvoukřídlí jsou jednou z neúspěšnějších skupin organismů na Zemi a jsou biologicky velmi rozmanití. Odhaduje se existence okolo 1 milionu druhů, ačkoliv bylo dosud popsáno okolo 160 tisíc druhů. Jejich larvální stadium je poměrně dlouhé oproti dospělcům, kteří mají kratší život. Velké množství larev se vyvíjí ve vodním prostředí nebo na jiných vlhkých místech, také využívají těla mršin, ovoce, zeleninu, houby a v případě parazitických druhů se vyvíjejí uvnitř jejich hostitelů. Velká část dvoukřídlých prodělává larvální vývoj v půdě a jsou tak dočasnou, ale velmi významnou skupinou organismů při rozkladu a degradaci rostlinné a živočišné hmoty, čímž se podílejí se na uvolňování živin zpět do půdy. Larvy navíc doplňují potravu vyšších organismů a jsou důležitou součástí potravních řetězců. Z půdního hlediska jsou důležité především larvy tiplic (*Tipulidae*), muchnic (*Bibionidae*), smutnic (*Sciaridae*) a pakomárů (*Chironomidae*). Jejich množství může lokálně dosahovat až tisíce jedinců na metr čtvereční. Nejvíce larev dvoukřídlých se vyskytuje v kompostech, hnojištích a podobných místech s nahromaděnou vlhkou, rozkládající se rostlinnou hmotou. Jako saprofágové se podílejí na přeměně mrtvé organické hmoty, zejména v půdách listnatých lesů, kde patří k důležitým rozkladačům opadu včetně tlejícího dřeva. (Schlaghamerský a kol. 2020).

Larvy a dospělci hmyzu s proměnou dokonalou (*Holometabola*) – do této kategorie byly zařazeny larvy a dospělci s proměnou dokonalou vyjma mravenců a dvoukřídlých. Larvy jsou většinou jednoduché červovitého tvaru s jednoduchýma očima. Patří sem například larvy a dospělci brouků (*Coleoptera*), cvrčků (*Grylloidea*), krtonožek (*Gryllotalpidae*), škvorů (*Dermaptera*) a další. Dospělci nalezené ve vzorcích se přímo neurčovali, označili se jako dospělý hmyz (Schlaghamerský a kol. 2020).

Mravenci (*Formicidae*) – jsou pravděpodobně nejvýznamnější čeledí půdního hmyzu kvůli jejich velkému vlivu na strukturu půdy. Odhaduje se, že mravenci se podílejí na 15 až 25 % na celkové biomase suchozemských živočichů. Mravenci tvoří velmi početné populace, mají velkou druhovou diverzitu a jsou široce rozšířeni po celém světě, přičemž největší místní druhová diverzita je v tropických oblastech. Taxonomicky jsou řazeni do jediné čeledi blanokřídlého hmyzu (*Hymenoptera*), mravencovití. Momentálně je známo okolo 13 800 druh, ale odhaduje se výskyt až 22 000 druhů. Jsou hlavními predátory malých bezobratlých a jejich aktivity snižují početnost dalších predátorů, například pavouků. Mravenci jsou ekosystémoví inženýři, kteří přeskupují velké objemy půdy, stejně jako žížaly. Přetvářením okolního prostředí řídí přímo či nepřímo dostupnost zdrojů pro jiné organismy. Mravenci jsou společenský hmyz, který žije v koloniích s několika kastami. Někdy jsou kolonie mravenců označeny jako super organismy, jelikož dokážou výborně spolupracovat a organizovat. Mravenci jsou součástí mnoha trofických úrovní, jsou to detritofágové, herbivoři, predátoři a

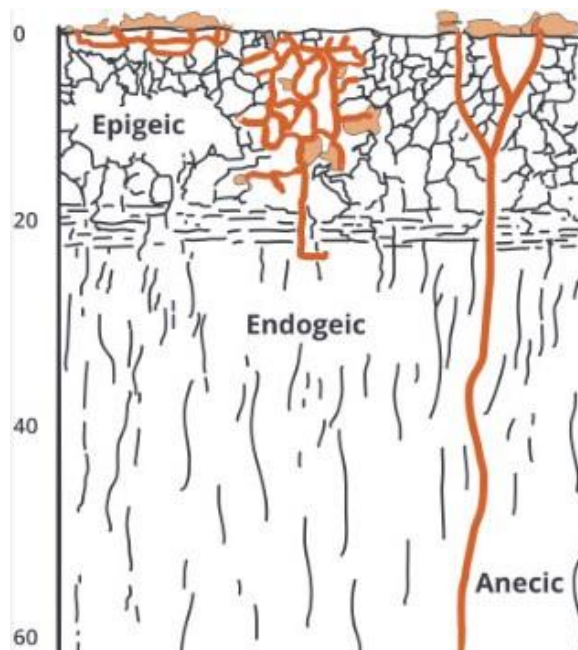
jsou také kořistí mnoha živočichů (např. hrabáčů, mravenečníků). Přítomnost mravenčích kolonií ovlivňuje mnoho fyzikálních i chemických změn v půdě, koloběh živin a tok energie. Na mravencích je závislá i řada živočichů (myrmekofilní druhy) a rostlin (myrmekochorní druhy). (Coleman & Wall 2007)

Žížaly (*Lumbricidae*) – jedná se o nejznámější skupinu kroužkovců vyskytující se prakticky ve všech půdách světa, v nichž je dostatečná vlhkost a obsah organických látek. Dosud bylo popsáno více než 5 tisíc druhů žížal a tento počet se stále zvyšuje. Jejich potravou jsou rozkládající se rostliny a jiné organismy. Žížaly ovšem požívají také velké množství půdy, písku a drobných částic. Odhaduje se, že žížala každý den přijímá a vylučuje svou vlastní váhu v potravě a půdě. Jejich velikost je od 10 milimetrů do 3 metrů, v České republice je nejdelším druhem *Allolobophora hrabei*, která může dosáhnout délky až 0,5 m. (Schlaghamerský a kol. 2020)

Z hlediska půdních procesů jsou žížaly často nejdůležitější součástí půdní fauny. Význam žížal vyplývá z jejich vlivu na půdní strukturu (tvorba agregátů či půdních pórů) a na rozkladu organické hmoty aplikované do půdy (např. fragmentace, zahrabávání a promíchávání rostlinných zbytků). Žížaly vyskytující se u nás jsou zařazeny do kmene kroužkovců (*Annelida*), třídy máloštětinateců (*Oligochaeta*), podřádu žížaly (*Lumbricina*), čeledi (*Lumbricidae*). Relativní početnost a druhové složení místní fauny do značné míry závisí na půdě, klimatu, vegetaci, topografii, historii využívání půdy a zejména na minulých invazích exotických druhů. Žížaly se vyskytují po celém světě na stanovištích, kde je dostatek vody v půdě a příznivá teplota alespoň po část roku. Nejhojněji se vyskytují v lesích a pastvinách mírných a tropických oblastí a nejméně v suchých a mrazivých prostředích, jakými jsou pouště, tundra nebo polární oblasti. Hustota žížal v různých biotopech po celém světě se pohybuje od deseti do 2 tisíc jedinců na m², nejvyšší hodnoty se vyskytují na hnojených pastvinách a nejnižší v kyselých nebo suchých půdách (jehličnaté nebo sklerofylní lesy). Typická hustota v mírných listnatých nebo tropických lesích a některých orných systémech se pohybuje od jednoho sta do více než 400 jedinců na m². Intenzivní obhospodařování půdy (zejména zpracování půdy a aplikace rostlinných pesticidů) často snižuje hustotu žížal nebo je může zcela eliminovat. (Coleman & Wall 2007)

Žížaly jsou často seskupeny do funkčních kategorií na základě jejich morfologie, chování a potravní ekologie a jejich mikrohabitatů v půdě. Epigeické a epiendogeické druhy preferují organicky obohacené substráty a využívají rostlinný odpad na povrchu půdy a horní vrstvy minerální půdy bohaté na uhlík. Endogenní druhy obývají minerální půdu s vysokým obsahem organické hmoty, jako je rhizosféra. Anektické druhy využívají povrchovou vrstvu opadaného listí jako zdroj potravy a minerální půdu jako útočiště. Epigeické druhy podporují rozklad a mineralizaci povrchové podestýlky, zatímco anektické druhy začleňují organickou hmotu hlouběji do půdního profilu a usnadňují provzdušňování a infiltraci vody prostřednictvím pórů a nor. Obrázek č. 9 ukazuje strukturu chodeb jednotlivých ekologických skupin žížal. (Fraser & Boag 1998)

Žížaly jsou stejně jako mravenci ekosystémoví inženýři, jež výrazně ovlivňují půdní strukturu tvorbou chodeb, pohlcováním částic půdy a produkcí exkrementů. Střevo žížal obsahuje velké množství mikrobů a již zde dochází k rozkladu organické hmoty, takže vyloučené exkrementy mají významnou mikrobiální aktivitu. Zóny s koncentrací těchto exkrementů jsou často místa se zvýšenou aktivitou kořenů rostlin a další půdní bioty. Žížaly vytváří v půdě makropóry různých velikostí, hloubek a orientací v závislosti na druhu a typu půdy. Chodbičky mají průměr od 1 do 10 milimetrů a tvoří jedny z největších půdních pórů. Nepřerušované makropóry, které vznikají při zavrtávání žížal, mohou zlepšit infiltraci vody tím, že fungují jako obtokové cesty půdou.



Obrázek č. 9: Rozdílné ekologické niky tří ekotypů žížal. (Fraser & Boag 1998)

Navzdory mnoha příznivým účinkům žížal na půdní procesy mohou být některé aspekty činnosti žížal nežádoucí. Mezi takové patří například odstraňování a zahrabávání povrchových zbytků, které by jinak chránily povrchy půdy před erozí, zvýšení ztrát půdního dusíku vyluhováním a denitrifikací nebo snižování uhlíku v půdě prostřednictvím mikrobiálního dýchání. Žížaly mohou také přenášet patogeny, buď jako pasivní přenašeči, nebo jako mezihostitelé.

Níže jsou uvedeny druhy, jež byly nalezeny v rámci výzkumné lokality:

Lumbricus terrestris – žížala obecná – jedná se o anektický druh, obývající především orné půdy, louky a listnaté lesy. Objevuje se i v dalších biotopech s vlhkou půdou bohatou na organické látky. V jehličnatých lesích se vyskytují pouze na březích toků. Jedná se o kosmopolitní druh, častěji se vyskytují v místech, kde je půda upravená člověkem. (Pižl 2002)

Dendrodrilus rubidus – jedná se o epigeický druh, hojně rozšířený druh. Žije v horní opadavé vrstvě půdy, obývá všechny typy ekosystémů, často se vyskytuje v antropogenních zdrojích organických látek (kompost, hnůj). Jedná se o acidotolerantní druh. Měří od 3,5 do 6 centimetrů a jsou červenohnědě zbarvené. (Pižl 2002)

Aporrectodea caliginosa – žížala temná – endogeický druh upřednostňující hlubší vrstvy půdy. Dorůstá délky 6 centimetrů jsou pro něj typické tři různé barevné odstíny v přední části těla. Preferuje jílovité a hlinité půdy, spíše ornice než opady listů. Dále obývá louky, mokřady, listnaté lesy. Jedná se o kosmopolitní druh. (Pižl 2002)

Aporrectodea rosea – jedná se o endogeický druh měřící od 2,5 do 15 centimetrů. Obývá různé typy ekosystémů, velice hojný v listnatých i smíšených lesích, v lužních lesích a na loukách. Preferuje ornice, kde je společně s *Aporrectodea caliginosa* nejběžněji se vyskytujícím druhem. Jde o kosmopolitní druh rozšířený také v celé České republice. (Pižl 2002)

Octolasion cyaneum – taktéž endogeický druh se často vyskytuje pod kameny či padlými kmeny a větvemi stromů. Jde opět o kosmopolitní druh, původně z jižní a západní Evropy. Nemá zvláštní preference vůči typu půdy. Obývá různé ekosystémy včetně agroekosystémů. (Pižl 2002)

Aporrectodea sp. – žížaly rodu *Aporrectodea*. Kvůli neurčitosti či poškození těl nebylo možné přesně určit, o jaký druh se přesně jedná, ale bylo možné je zařadit do rodu *Aporrectodea*.

V rámci determinace půdních vzorků byli nalezeni také další bezobratlí, ale nejedná se o významné půdní živočichy. Ve vzorcích se nacházeli např. komáři, ploštice, pavouci, mšice nebo klíšťata.

4 Praktická část

4.1 Charakteristika studované oblasti

V širším pojetí náleží zkoumaná oblast dle geomorfologického členění k celku Východolabská tabule a podcelku Pardubická kotlina. Jedná se o erozní kotlinu v povodí Labe V morfologii terénu převládají akumulární tvary říčních teras, nadmořská výška oblasti se pohybuje od 213 do 230 m. n. m. Geologický podklad zájmového území tvoří komplex svrchnokřídových sedimentů překrytých kvartálními uloženinami, ojediněle se vyskytují terciální vulkanity. K nejhojnějším horninám na území patří křídové sedimenty – vápnité jílovce, slínovce a prachovce. Břehy řek tvoří hlinitopísčité naplaveniny vytvářející fluvizemě.

Studované území spadá do teplé oblasti s dlouhým suchým létem a mírnou, krátkou a často suchou zimou. Průměrná roční teplota vzduchu je 8 °C. Vzhledem k nerovnoměrnému rozložení srážek a jejich nízkému úhrnu, je omezena tvorba zásob podzemní vody.

4.1.1 Popis lokality

Jako modelová lokalita pro vlastní terénní výzkum byla vybrána oblast na pravém břehu řeky Labe v blízkosti odkaliště společnosti Synthesia a. s., Areál společnosti Synthesia, a. s. se nachází na vnější hranici města Pardubice, v západní až v severozápadní části průmyslové zóny, cca 5 km od centra města. Společnost patří mezi přední evropské výrobce kvalifikované chemie s téměř stoletou tradicí a dodává produkty do odvětví nátěrových hmot a tiskových i jiných barev potřebných v papírenském, textilním nebo kožedělném průmyslu. Dále se zabývá výrobou organických chemikálií, hnojiv, pesticidů, také nitrocelulózy a oxycelulózy. Téměř třičtvrtiny produkce jsou exportovány do zahraničí. Společnost sídlí v Pardubicích v městské části Semtín, při břehu řeky Labe a rozkládá se na ploše 4,4 m². (O společnosti 2011)

Historie společnosti sahá až do roku 1920, kdy vznikla v Pardubicích *Československá akciová továrna na látky výbušné*. O osm let později se od ní odštěpuje sesterský závod Synthesia umístěný v Semtíně, který se zabývá produkcí látek potřebných pro výrobu výbušnin. V roce 1939 se začíná stavět v nedalekém Rybitví továrna na výrobu barviv a léčiv, v níž se průběhu desítek let rozšířil výrobní sortiment. V roce 1994 byly všechny závody transformovány na akciovou společnost Synthesia. Od roku 2009 náleží k AGROFERT HOLDING, a.s. (Historie 2011)

Vzhledem k širokému spektru produktů je společnost rozdělena na čtyři výrobně obchodní jednotky – pigmenty a barviva, nitrocelulóza (k výrobě nátěrových hmot, ale také střeliva a trhavin), organická chemie (např. výroba farmaceutických látek a pesticidů) a energetika (výroba elektrické energie pro chod továrny). (O společnosti 2011)

Celková rozloha areálu činí zhruba 12 km², z toho je 4 km² zastavěné plochy, kterou tvoří cca 1 700 budov. Území závodu je tvořeno jednak oplocenou částí výrobního areálu a dále neoplocenou částí skládkových areálů, v nichž je soustředěna většina chemického odpadu. Skládkové areály zasahují zčásti do významného krajinného prvku v těsné blízkosti řeky Labe a v oblasti jejího slepého ramene.

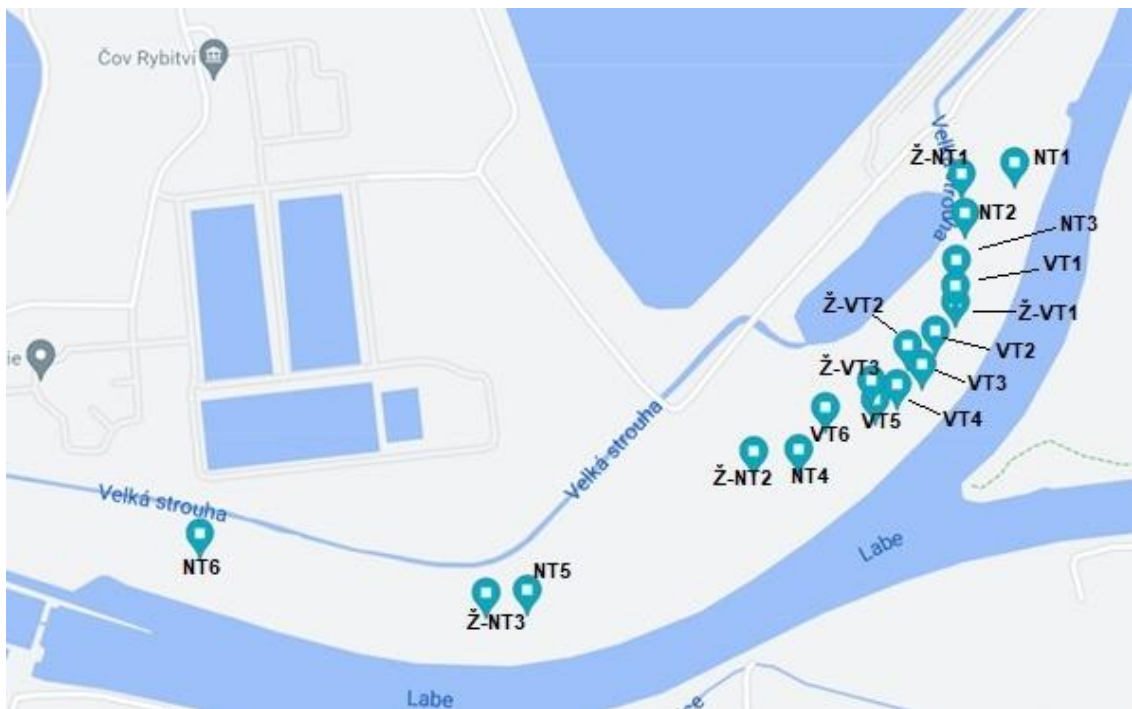
Vzhledem k tomu, že je práce zaměřena na charakteristiku společenstev půdní fauny v prostředí zatíženém lidskou činností, byla vybrána modelová lokalita přirozeného porostu topolů a vrb na pravém břehu Labe v těsné blízkosti odkaliště chemické továrny Synthesia a.s. v obci Rybitví, viz obrázek č. 10.

Místa odběrů vzorků půdy a žížal se nachází mezi cestou podél řeky Labe v úseku Pardubice – Rybitví (viz obrázek č. 10 a 11) a malou sedimentační nádrží. Rostou zde přirozené porosty vrb, topolů, javorů a dalších dřevin, uměle jsou zde vysázeny rychle rostoucí vrby. V bylinném patře převažuje kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*), která místy dosahuje až 2 metrů. Obrázek č. 11 znázorňuje body, kde byly odebrány vzorky půdy a žížal. Přesné pozice odběrných míst byly zaznamenány pomocí GPS lokátoru v mobilním telefonu.



Obrázek č. 10: Ortofoto mapa části areálu, nádrže a odkaliště společnosti Synthesia, a.s.

Zdroj: Google maps



Obrázek č. 11: Mapa odběrných míst. Zdroj: Google maps

4.1.2 Potenciální kontaminace lokality

V zájmovém území se nachází několik nádrží a odkališť, které představují riziko znečištění průsakem do podzemních vod. Největší a nejznámější je nádrž Lhotka (cca 30 ha), dále laguna sádry (cca 9 ha) a malá sedimentační nádrž/ jímka (cca 2 ha), v jejíž blízkosti probíhal hlavní výzkum půdních společenstev.

Laguna sádry je součástí neutralizační čistírny odpadních vod a slouží k ukládání odpadní sádry a neutralizaci odpadních roztoků z chemické výroby. Aktuálně již není využívána a zarůstá náletovou vegetací včetně dřevin. Roztoky z této laguny byly potrubím vedeny do retenční nádrže Lhotka, která sloužila k zadržování a vypouštění odpadních vod přímo do řeky Labe. Odpadní sádra byla kontaminována především dichlorbenzenem, anilinem, a stopovými koncentracemi Hg. V současné době je nádrž využívána jako retenční a před vypuštěním do Labe jsou odpadní vody neutralizovány. Nádrž je od okolí také oddělena vyšší sypanou hrází a v zemi je izolována milánskou stěnou (směs jílu, kamení, skla a chemických přísad). Retenční nádrž byla znečištěna hlavně chlorbenzeny, dinitrotoluenem, anilinem, chlorfenoly a také stopovými obsahy mědi, rtuti, zinku, chromu a arsenu. Podobnou kontaminaci vykazovala malá sedimentační nádrž, která není opatřena žádným těsnícím zařízením. (Valenta & Pokorný, 2014)

Dále se v území nachází antropogenní navážky z výrobního areálu, které mohou být také potenciaálním rizikem kontaminace prostředí.

4.2 Metodika

4.2.1 Pomůcky a vybavení

Veškeré odběry výzkumného materiálu probíhaly v těžko dostupných místech se zarostlou a špatně přístupnou příjezdovou cestou. Pro odběr půdních vzorků v terénu byl použit rýč, pracovní rukavice, odměrná nádoba, sáčky na půdní vzorky, mobilní telefon s GPS lokátorem, lihový popisovač, přenosná taška na odebrané vzorky. Při sběru žížal byly využity uzavíratelné skleničky se 70% roztokem ethanolu (k usmrcení žížal), entomologická pinzeta, 10 l zahradní konvice na vodu, klekátko pod kolena, dvě tyče a provázek na vyznačení 1 m². Ukázka části vybavení pro odběr vzorků půdy a žížal je na obrázku č. 12.

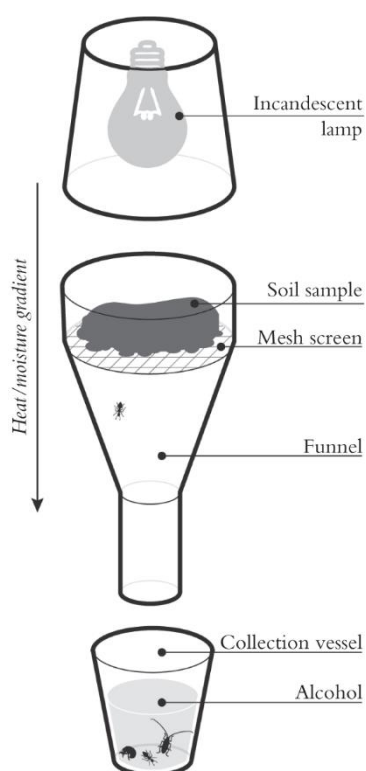


Obrázek č. 12: Vybavení pro odběr půdy a žížal. Zdroj: Vlastní fotografie

4.2.2 Odběr půdy, extrakce a determinace mezoedafonu

Sběr vzorků půdy začal v květnu 2019 a pokračoval až do října 2019, přičemž v červenci byl výzkum vynechán ze zdravotních důvodů. Vzorky byly odebírány na 12 různých lokalitách, z toho 6 lokalit se nacházelo přímo v porostu vrb a topolů a jsou označeny jako VT. Lokality mimo porost vrb a topolů byly označeny jako NT. Každé místo odběru bylo číselně označeno. Lokality byly vybírány tak, aby jejich vzdálenost byla alespoň 15 metrů od příjezdové cesty a minimálně 30 metrů mezi sebou. Každý vzorek půdy byl odebrán rýčem, přesypán do odměrné nádoby k odměření objemu 1 litr a uložen do uzavíratelných pytlíků. Vzorky byly ihned označeny příslušným číselným a písemným označením lokality. Poté byly odvezeny do Prahy ke zpracování.

V laboratoři byly vzorky vloženy do Tullgrenova extraktoru (viz obrázek č. 13), což je zařízení skládající se z velkého trychtýře s kovovým sítem, na kterém je umístěn půdní vzorek. Zahřívání vzorku za pomoci žárovky způsobuje přirozenou reakci půdních organismů pohybovat se směrem dolů, kde propadávají sítem do nádoby s etanolem. Poté byly zachycené organismy umístěny na Petriho misku s vyznačenou mřížkou a pomocí binolupy a pinzet byla nasbíraná půdní fauna determinována.



Obrázek č. 13: Schéma Tullgrenova extraktoru. (Nielsen 2019)

4.2.3 Odběr žížal (*Lumbricidae*) a zpracování vzorků

Sběr žížal započal v červnu 2019 a pokračoval každý měsíc, vyjma července, až do října 2019. V každém měsíci byly odebrány vzorky žížal z 6 různých lokalit a stejně jako u půdních vzorků, byly rozlišeny dvě skupiny označené jako NT a VT, přičemž každá z nich čítala 3 lokality. Před odběrem bylo každé místo opatrně očištěno od opadu. Poté byla vytyčena kruhová plocha o obsahu 1m², a to pomocí dvou tyčí a provázku. Takto vyznačený kruh byl třikrát zalit hořčičným roztokem, který umožňuje šetrně vypudit žížaly z půdy. Při výzkumu se ukázalo, že lokalita není příliš bohatá na žížaly, a proto byli další jedinci vybráni z půdy ručně za pomoci rýče. Odebrané žížaly byly entomologickou pinzetou přeneseny do sklenice s 70% roztokem ethanolu.

Vzorky byly převezeny do laboratoře v Praze, kde byli odchycení jedinci na 14 dní přemístěni do 5% roztoku formaldehydu (pro zpevnění sturktur těla a zachování barvy). K usnadnění determinace byli odchycení jedinci opět vloženi zpátky do roztoku ethanolu.

4.2.4 Statistické metody

Po determinaci byly vzorky analyzovány pomocí statistického vyhodnocovacího programu STATISTICA 12, kde byla použita metoda jednofaktorové ANOVY.

ANOVA (Analysis of Variance) neboli analýza rozptylu je statistická metoda, která umožňuje provádět vícenásobné porovnávání středních hodnot. Je založena na hodnocení vztahů mezi rozptyly porovnávaných souborů dat. Jednofaktorová ANOVA (analýza rozptylu jednoduchého třídění) je nejjednodušším případem analýzy rozptylu, kdy je analyzován účinek jednoho faktoru na zkoumanou závisle proměnnou. (Kim, 2017)

5 Výsledky

Půdní vzorky byly sbírány na dvou typech stanovišť: porost vrb a topolů (VT) a travnatých nebo písčité lokality s nízkou vegetací (NT)

Celkově bylo v půdních vzorcích nalezeno 2579 bezobratlých, z tohoto počtu bylo na stanovištích VT nalezeno 1146 jedinců a na stanovištích NT 1433 jedinců různých skupin. V tabulce č. 1 jsou znázorněny jednotlivé skupiny nalezené v půdních vzorcích, jejich počty a procentuální zastoupení.

Pancířníci	Stonožky	Roztoči	Stonožky
286 11,090 %	20 0,775 %	1529 59,287 %	94 3,645 %
Stejnonožci	Žížaly	Roupice	Mravenci
21 0,814 %	3 0,116 %	55 2,133 %	18 0,698 %
Vidličnatky	Holometabola*	Mnohonožky	Chvostokoci
26 1,008 %	96 3,722 %	42 1,629 %	297 11,516 %
Pisivky	Hmyzenky	Dvoukřídli	Další zástupci
14 0,543 %	1 0,039 %	47 1,822 %	30 1,163 %

Tabulka č. 1: Nálezy v půdních vzorcích, jednotlivé počty a procentuální zastoupení.

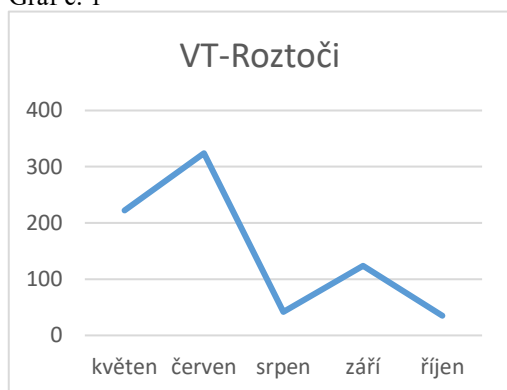
*Holometabola – Larvy a dospělci hmyzu s proměnou dokonalou

5.1 Analýza populační dynamiky hlavních složek mezoedafonu

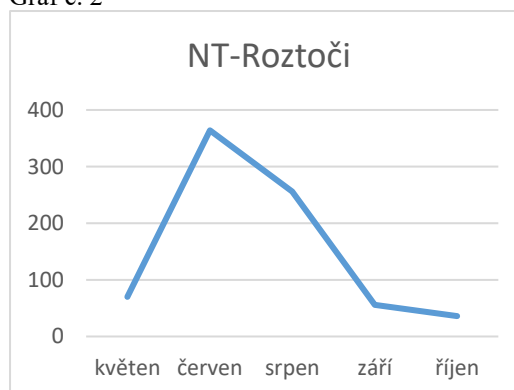
K analýze populační dynamiky byly vybrány pouze skupiny půdních živočichů s více než 10% zastoupením. Jedná se o skupiny roztočů, pancířníků a chvostokoků. Pro každou z těchto skupin byly vytvořeny dva grafy populační dynamiky (jedna pro zástupce NT a druhá pro zástupce VT), kde osa x udává počet jedinců druhu a osa y udává čas v měsících.

5.1.1 Roztoči (*Acari*)

Graf č. 1



Graf č. 2

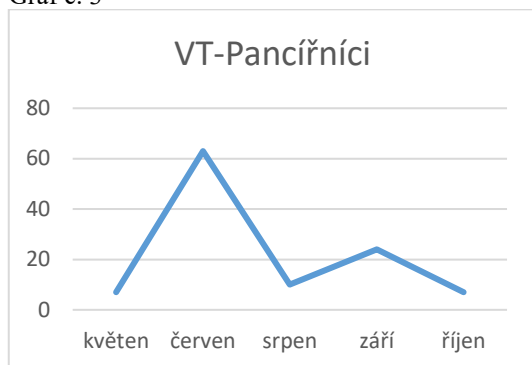


Na grafu č. 1 je dobře viditelná stoupající a klesající početnost, na rozdíl od grafu č. 2, kde početnost kulminuje v měsíci červnu a poté již jen klesá. Příčinou může být sucho, neboť na většině lokalit NT se nacházelo méně vegetace než na lokalitách VT a o to méně se zde držela vlhkost. Na celkový počet nalezených jedinců nicméně typ vegetace vliv neměl, počty

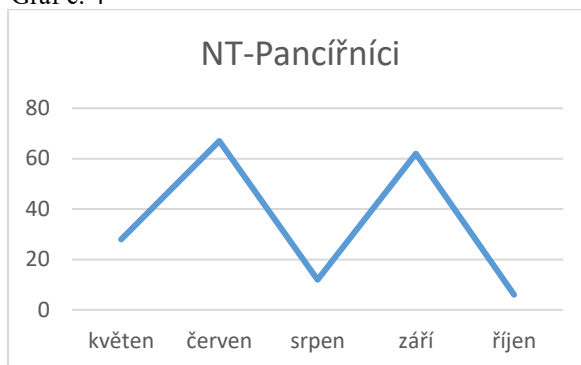
byly srovnatelné – na stanovištích VT bylo nalezeno 747 jedinců a na stanovištích NT 782 jedinců. Velký rozdíl je patrný v početnosti v měsíci květnu, kdy bylo na stanovištích VT nalezeno mnohem více jedinců než na stanovištích NT.

5.1.2 Pancířníci (*Oribatida*)

Graf č. 3



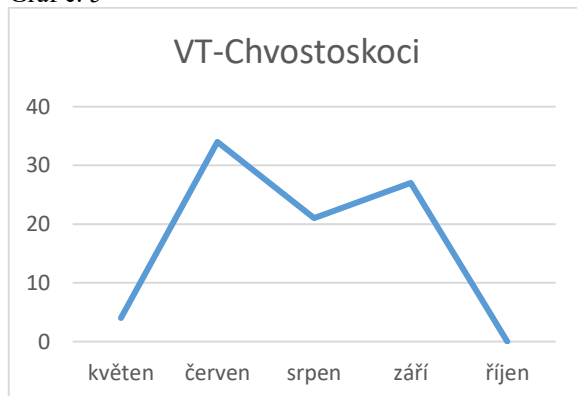
Graf č. 4



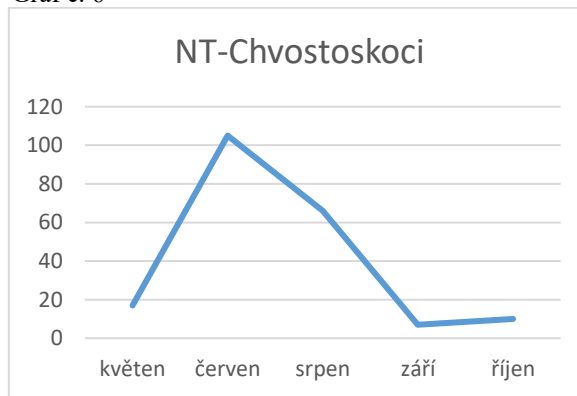
Početnost pancířníků na obou typech stanovišť vykazují podobnou tendenci – kulminují v měsíci červnu a září, ovšem na stanovištích NT se v září pancířníkům dařilo mnohem lépe než na stanovištích VT. Celkově bylo na stanovištích VT nalezeno 111 jedinců a na stanovištích NT 175 jedinců.

5.1.3 Chvostokoci (*Collembola*)

Graf č. 5



Graf č. 6



Na rozdíl od předchozích dvou skupin živočichů nedochází u pancířníků k poklesu početnosti v měsíci srpnu, ale až v září – říjnu. Opět je zde rozdíl v množství nalezených jedinců mezi typy stanovišť. Na stanovištích VT bylo nalezeno pouze 86 jedinců a na stanovištích NT 205 jedinců.

Ačkoli se předpokládalo, že na stanovištích VT s monokulturou vrb a topolů, kde je více zadržována vlhkost, bude více jedinců dané skupiny než na stanovištích NT, nebylo tomu tak. U všech tří výše uvedených skupin mezofauny byla početnost vyšší v oblastech NT oproti

oblastem VT. Na stanovištích NT se původně vyskytovaly smíšené lesy a travnaté oblasti a lze předpokládat, že rozmanitost prostředí ovlivnila i počty jedinců skupin.

5.2 Analýza dat skupiny žížal (*Lumbricidae*)

Celkově bylo nalezeno na všech stanovištích 89 jedinců žížal. Z tohoto počtu bylo do druhu determinováno 80 jedinců. Jednalo se o druhy: *Lumbricus terrestris* (žížala obecná), *Dendrodrilus rubidus*, *Aporrectodea caliginosa* (žížala temná), *Aporrectodea rosea* a *Octolasion cyaneum*. 9 jedinců nebylo možno přesněji určit, ale jednalo se o zástupce rodu *Aporrectodea*.

5.2.1 Stanoviště NT

Na stanovištích NT bylo celkově nalezeno 31 jedinců, z toho 18 juvenilních a 13 adultních. Kromě 2 jedinců se všechny žížaly daly přesně determinovat. Podmínky na stanovištích NT nebyly zřejmě ideální, polovina výkopů byla v otevřených travnatých oblastech, která byla poměrně vysušená a místy i velmi písečná. Z tohoto důvodu nebyl na dvou stanovištích nalezen v jednom měsíci žádný zástupce žížal, jednalo se o stanoviště NT1 v červnu a stanoviště NT3 v srpnu. Druhy nalezené na těchto stanovištích: *Lumbricus terrestris* (žížala obecná), *Dendrodrilus rubidus*, (žížala temná), *Aporrectodea rosea* a *Octolasion cyaneum*. Nejčastěji nalezeným druhem na těchto stanovištích byla *Aporrectodea caliginosa* (viz Tabulka č. 2).

5.2.2 Stanoviště VT

Na těchto stanovištích bylo nalezeno 58 jedinců žížal, z nichž 7 nebylo možno přesně determinovat, jednalo se o rod *Aporrectodea*. 38 jedinců bylo juvenilních a 20 adultních. Stanoviště VT byla obecně bohatší na výskyt žížal na rozdíl od stanovišť NT. Oblasti sběru vzorků byly vždy chráněny stromy a kopřivami a poskytovaly žížalám přívětivější podmínky než na stanovištích NT. Na těchto stanovištích byly nalezeny: *Lumbricus terrestris* (žížala obecná), *Aporrectodea caliginosa* (žížala temná), *Aporrectodea rosea* a *Octolasion cyaneum*. Také na těchto stanovištích se nejhojněji vyskytovala *Aporrectodea caliginosa* (viz Tabulka č. 2).

Dle Nálezové databáze ochrany přírody vedené Agenturou ochrany přírody a krajiny České republiky (AOPK ČR, ND) je výskyt druhu *Lumbricus terrestris* na tomto území běžný na rozdíl od ostatních nalezených taxonů. Pižl (2002) uvádí, že se zde běžně vyskytoval také *Dendrodrilus rubidus*, ačkoli byl nalezen pouze jeden jedinec tohoto druhu. Výskyt druhů *Aporrectodea caliginosa* a *Aporrectodea rosea* nebyl v této oblasti potvrzen ani Pižlem (2002) ani Nálezovou databází AOPK ČR, a přesto šlo o dvě nejpočetnější skupiny žížal. Dle Pižla (2002) se tyto dva druhy často vyskytují společně. Nález méně známého druhu

Octolasion cyaneum na tomto území je poměrně významný, ačkoli byl nalezen pouze ve dvou exemplářích.

Druh	Stanoviště NT	Stanoviště VT
<i>Aporrectodea caliginosa</i>	14	35
<i>Aporrectodea rosea</i>	9	12
<i>Aporrectodea</i> sp.	2	7
<i>Lumbricus terrestris</i>	4	3
<i>Octolasion cyaneum</i>	1	1
<i>Dendrodrilus rubidus</i>	1	0

Tabulka č. 2: Množství nalezených zástupců žížal na obou typech stanovišť.

5.3 Celková statistická analýza dat

Pro statistické vyhodnocení dat byl použit program STATISTICA 12 a v jeho rámci metoda jednofaktorové ANOVY. Pomocí této metody byla zjišťována diverzita půdní fauny v jednotlivých lokalitách. Základní hypotéza byla: Neexistuje statisticky významný rozdíl mezi počtem jedinců a edafonu v jednotlivých lokalitách. Hladina významnosti byla stanovena jako $\alpha=0,05$. Pokud $p > \alpha$, pak se hypotéza nezamítá, pokud je $p < \alpha$, pak se hypotéza zamítá.

5.3.1 Stanoviště VT1

V příložené tabulce č. 4 jsou znázorněny počty různých skupin půdní fauny pro jednotlivé měsíce provedeného výzkumu. Na stanovišti VT1 bylo determinováno 11 skupin bezobratlých.

Tabulka č. 4: Stanoviště VT1

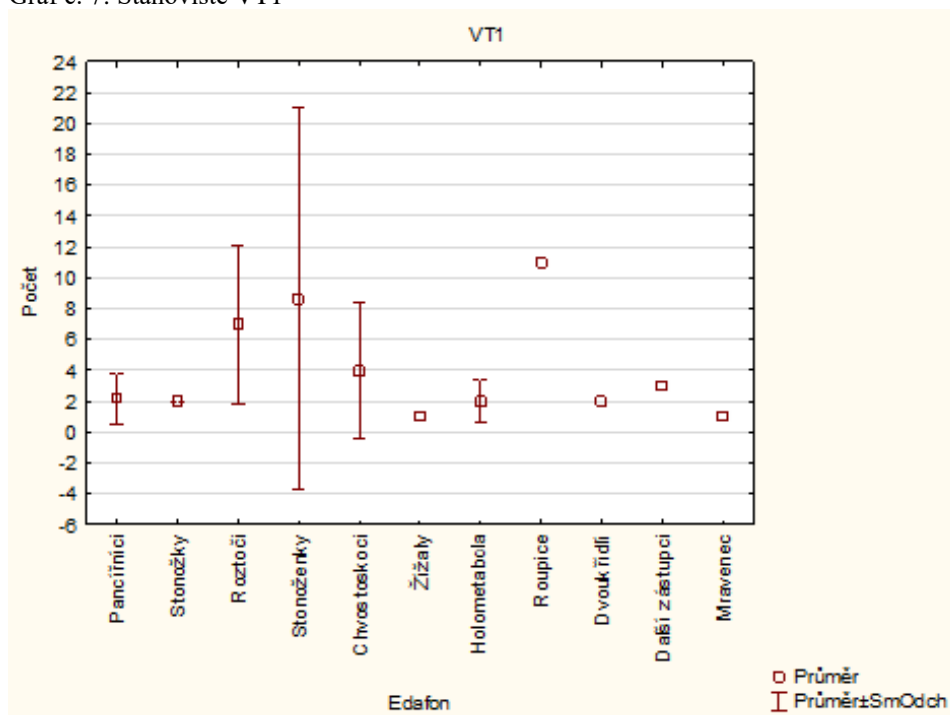
Počet	Edafon	Měsíce	Počet	Edafon	Měsíce
2	Pancířníci	květen	1	Holometabola	srpen
2	Stonožky	květen	9	Chvostoscoci	srpen
1	Roztoči	květen	11	Roupice	srpen
2	Stonoženky	květen	2	Dvoukřídlí	srpen
2	Pancířníci	červen	3	Další nálezy	srpen
9	Roztoči	červen	1	Pancířníci	září
1	Chvostoscoci	červen	2	Roztoči	září
1	Stonoženky	červen	3	Holometabola	září
1	Žížaly	červen	2	Chvostoscoci	září
1	Pancířníci	srpen	1	Mravenec	září
11	Roztoči	srpen	5	Pancířníci	říjen
23	Stonoženky	srpen	2	Stonožky	říjen
			12	Roztoči	říjen

Tabulka č. 5: Statistické vyhodnocení stanoviště VT1

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Počet (VT1) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	272,3044	1	272,3044	8,190193	0,012553
Edafon	210,5333	10	21,0533	0,633228	0,763846
Chyba	465,4667	14	33,2476		

Tabulka č. 5 výpočtu jednofaktorové ANOVY ukazuje, že hodnota p u edafonu je vyšší než stanovená hladina významnosti α . Z tohoto důvodu se hypotéza nezamítá a neexistuje statisticky významný rozdíl mezi počtem jedinců a edafonem.

Graf č. 7: Stanoviště VT1



Z grafu č. 7 je patrné největší zastoupení stonoženek, roztočů, chvostokoků a pancírníků, přičemž stonoženky mají největší rozptyl. Největší průměrnou hodnotu mají roupice, následně stonoženky a roztoči.

5.3.2 Stanoviště VT2

Na stanovišti VT2 bylo determinováno 9 skupin půdních bezobratlých, jak ukazuje tabulka č. 6. Většina zástupců skupin zde byla objevena po jednom jedinci.

Tabulka č. 6: Stanoviště VT2

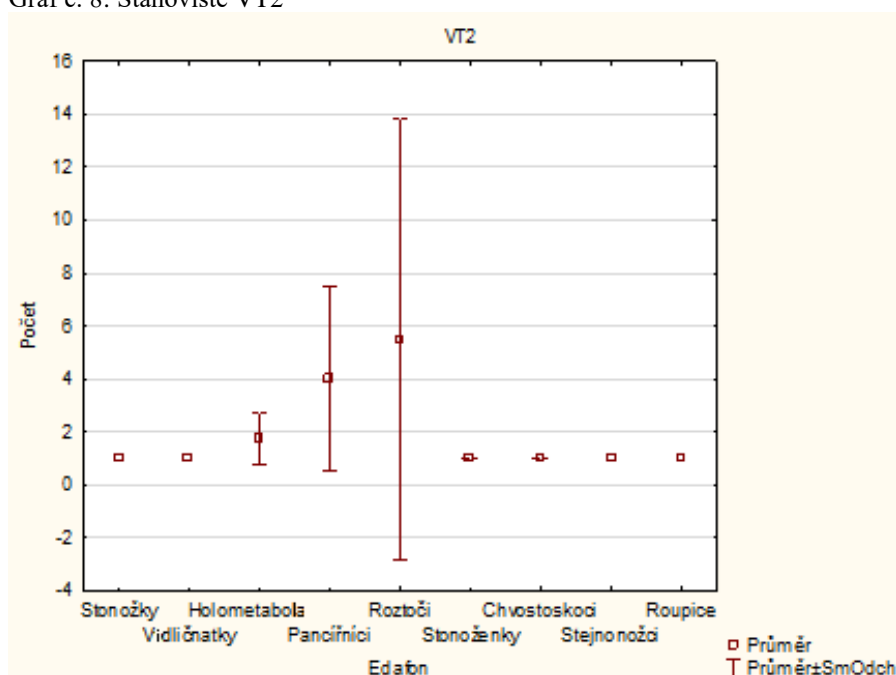
Počet	Edafon	měsíce	Počet	Edafon	měsíce
1	Stonožky	květen	1	Holometabola	srpen
1	Vidličnatky	květen	1	Chvostokoci	srpen
3	Holometabola	květen	1	Stejnonožci	srpen
8	Pancírníci	červen	1	Roupice	srpen
1	Roztoči	červen	2	Pancírníci	září
1	Stonoženky	červen	2	Roztoči	září
2	Holometabola	červen	1	Roztoči	říjen
1	Chvostokoci	červen	1	Stonoženky	říjen
2	Pancírníci	srpen	1	Holometabola	říjen
18	Roztoči	srpen			

Tabulka č. 7: Statistické vyhodnocení stanoviště VT2

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Počet (VT2) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	51,0107	1	51,01071	2,163763	0,172052
Edafon	62,8816	8	7,86020	0,333412	0,933509
Chyba	235,7500	10	23,57500		

V tabulce č. 7 pro výpočet jednofaktorové ANOVY je hodnota p u edafonu vyšší než stanovená hladina významnosti α . Z tohoto důvodu se hypotéza nezamítá a neexistuje statisticky významný rozdíl mezi počtem jedinců a edafonem.

Graf č. 8: Stanoviště VT2



V grafu č. 8 je jasně vidět, že největšího rozptylu dosáhli roztoči, dále pancířníci a skupina holometabola.

5.3.3 Stanoviště VT3

Stejně jako na stanovišti VT1 bylo i zde determinováno 11 skupin bezobratlých. Na tomto stanovišti bylo nalezeno velké množství půdních roztočů, jak je patrné z tabulky č. 8.

Tabulka č. 8: Stanoviště VT3

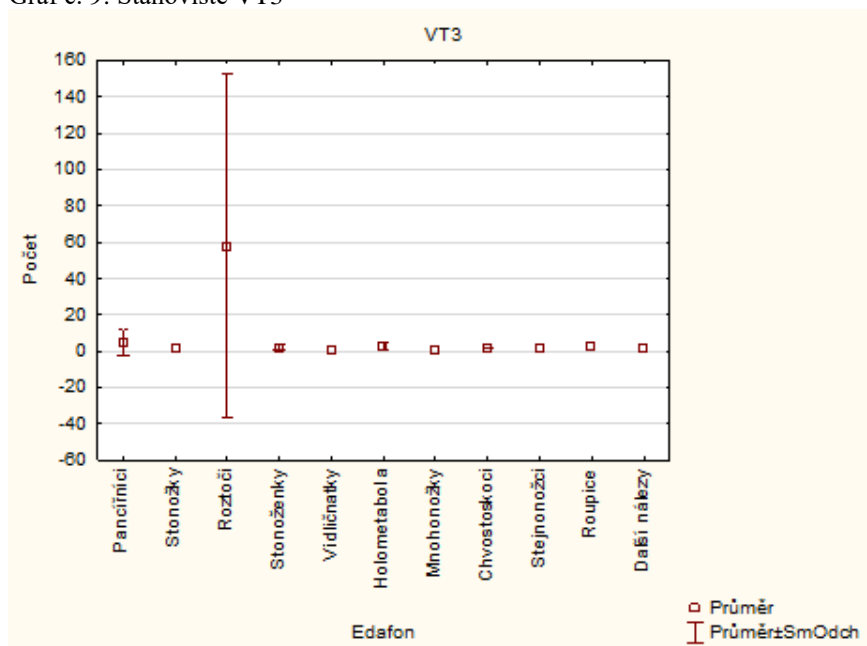
Počet	Edafon	měsíce	Počet	Edafon	měsíce
3	Pancířníci	květen	4	Holometabola	červen
2	Stonožky	květen	2	Chvostokoci	červen
199	Roztoči	květen	2	Stejnonožci	červen
1	Stonoženky	květen	3	Roupice	červen
1	Vidličnatky	květen	2	Další nálezy	červen
1	Holometabola	květen	1	Pancířníci	srpen
1	Mnohonožky	květen	4	Roztoči	srpen
2	Chvostokoci	květen	1	Pancířníci	září
17	Pancířníci	červen	1	Pancířníci	říjen
21	Roztoči	červen	6	Roztoči	říjen
3	Stonoženky	červen			

Tabulka č. 9: Statistické vyhodnocení stanoviště VT3

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Počet (VT3) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	797,00	1	797,001	0,294415	0,599289
Edafon	9728,54	10	972,854	0,359375	0,939012
Chyba	27070,70	10	2707,070		

Tabulka č. 9 pro výpočet jednofaktorové ANOVY ukazuje, že hodnota p u edafonu je vyšší než stanovená hladina významnosti α . Z tohoto důvodu se hypotéza nezamítá a neexistuje statisticky významný rozdíl mezi počtem jedinců a edafonem.

Graf č. 9: Stanoviště VT3



Dominantou grafu č. 9 je rozptyl roztočů, minimální rozptyl byl zjištěn pro skupiny holometabolous, stonoženky a pancířníky.

5.3.4 Stanoviště VT4

Na tomto stanovišti bylo nalezeno 8 různých skupin půdních bezobratlých. Stejně jako na stanovišti VT3 bylo i zde zaznamenáno velké množství roztočů během jednoho měsíce, jak ukazuje tabulka č. 10.

Tabulka č. 10: Stanoviště VT4

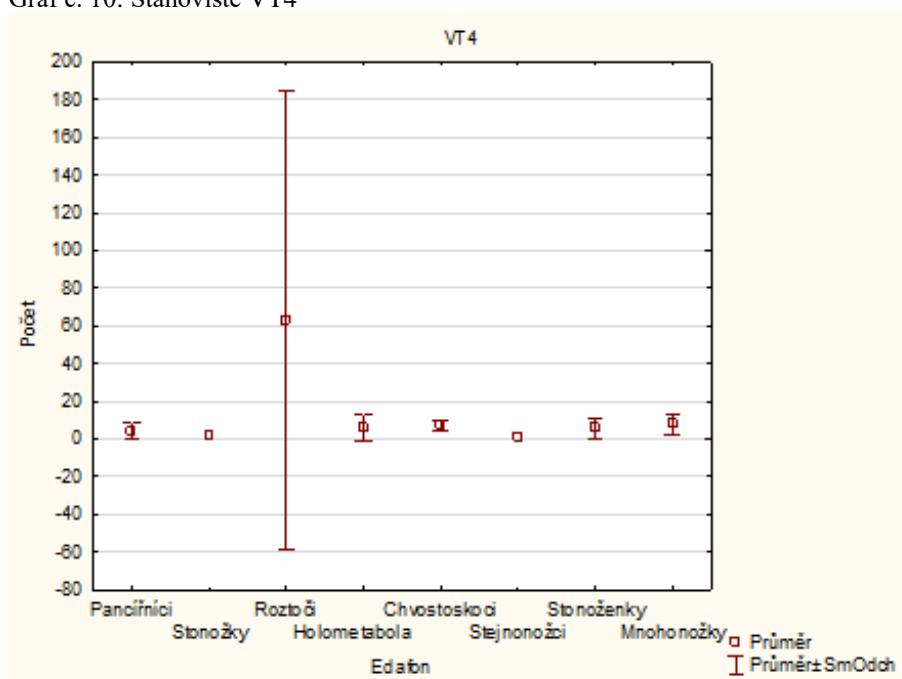
Počet	Edafon	měsíce	Počet	Edafon	měsíce
1	Pancířníci	květen	2	Stonoženky	srpen
2	Stonožky	květen	7	Mnohonožky	srpen
19	Roztoči	květen	4	Chvostokoci	srpen
11	Pancířníci	červen	2	Pancířníci	září
281	Roztoči	červen	8	Roztoči	září
11	Holometabola	červen	9	Stonoženky	září
9	Chvostokoci	červen	1	Holometabola	září
1	Stejnonožci	červen	14	Mnohonožky	září
3	Pancířníci	srpen	8	Chvostokoci	září
1	Roztoči	srpen	6	Roztoči	říjen
			3	Mnohonožky	říjen

Tabulka č. 11: Statistické vyhodnocení stanoviště VT4

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Počet (VT4) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	2273,82	1	2273,821	0,494381	0,494380
Edafon	12659,99	7	1808,570	0,393225	0,889976
Chyba	59791,25	13	4599,327		

V tabulce č. 11 pro výpočet jednofaktorové ANOVY je hodnota p u edafonu vyšší než stanovená hladina významnosti α . Z tohoto důvodu se hypotéza nezamítá a neexistuje statisticky významný rozdíl mezi počtem jedinců a edafonem.

Graf č. 10: Stanoviště VT4



Stejně jako u stanoviště VT3, tak i zde mají roztoči velký rozptyl, jak je zřejmé z grafu č. 10. Zato holometabola, stonoženky, mnohonožky a pancířníci vykazují velmi malé rozptyly.

5.3.5 Stanoviště VT5

Na tomto stanoviště bylo determinováno 10 skupin bezobratlých viz tabulka č. 12. Také zde bylo nalezeno velké množství roztočů, a to hlavně v měsíci září. Na předchozích stanovištích se jednalo převážně o měsíce květen a červen.

Tabulka č. 12: Stanoviště VT5

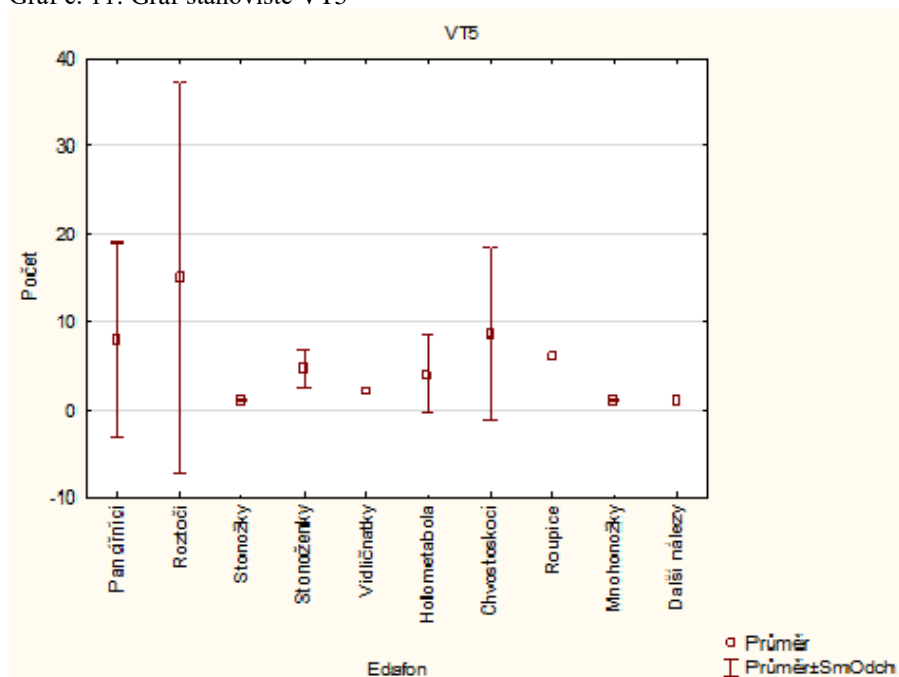
Počet	Edafon	měsíce	Počet	Edafon	měsíce
1	Pancířníci	květen	6	Pancířníci	září
1	Roztoči	květen	1	Stonožky	září
24	Pancířníci	červen	54	Roztoči	září
1	Stonožky	červen	4	Stonoženky	září
12	Roztoči	červen	1	Holometabola	září
7	Stonoženky	červen	1	Mnohonožky	září
2	Vidličnatky	červen	4	Chvostokoci	září
9	Holometabola	červen	1	Další nálezy	září
20	Chvostokoci	červen	1	Pancířníci	říjen
6	Roupice	červen	1	Stonožky	říjen
3	Roztoči	srpen	5	Roztoči	říjen
3	Stonoženky	srpen	2	Holometabola	říjen
1	Mnohonožky	srpen	1	Mnohonožky	říjen
2	Chvostokoci	srpen			

Tabulka č. 13: Statistické vyhodnocení stanoviště VT5

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Počet (VT5) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	515,005	1	515,0054	3,407535	0,082387
Edafon	645,333	9	71,7037	0,474428	0,872147
Chyba	2569,333	17	151,1373		

Tabulka č. 13 pro výpočet jednofaktorové ANOVY ukazuje, že hodnota p u edafonu je vyšší než stanovená hladina významnosti α . Z toho důvodu se hypotéza nezamítá a neexistuje statisticky významný rozdíl mezi počtem jedinců a edafonem.

Graf č. 11: Graf stanoviště VT5



Na tomto stanovišti vykazovalo větší rozptyl několik skupin živočichů, jak ukazuje graf č. 11. Největší rozptyl mají roztoči, následně pancířníci, chvostokoci, holometabola a stonoženky.

5.3.6 Stanoviště VT6

Na tomto stanovišti bylo determinováno 10 skupin bezobratlých. Stejně jako na stanovišti VT5 se i zde vyskytuje větší počet roztočů v měsíci září viz tabulka č. 14.

Tabulka č. 14: Stanoviště VT6

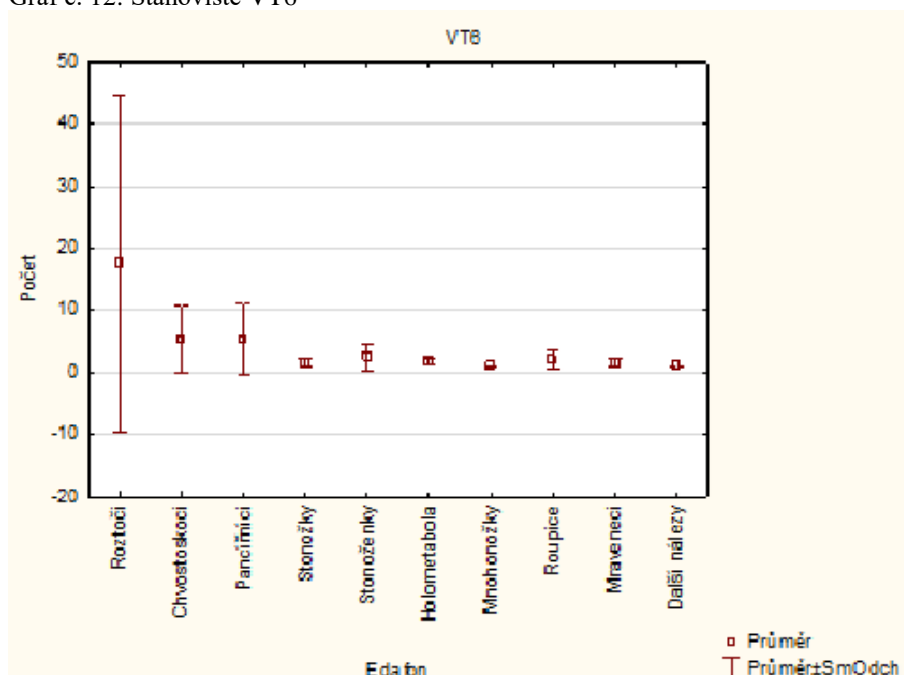
Počet	Edafon	měsíce	Počet	Edafon	měsíce
2	Roztoči	květen	1	Roupice	srpen
2	Chvostokoci	květen	2	Mravenci	srpen
1	Pancířníci	červen	1	Další nálezy	srpen
2	Stonožky	červen	12	Pancířníci	září
4	Stonoženky	červen	58	Roztoči	září
1	Holometabola	červen	1	Stonoženky	září
1	Mnohonožky	červen	2	Holometabola	září
1	Chvostokoci	červen	1	Mnohonožky	září
3	Roupice	červen	13	Chvostokoci	září
3	Pancířníci	srpen	1	Mravenci	září
5	Roztoči	srpen	1	Další nálezy	září
2	Holometabola	srpen	1	Stonožky	říjen
1	Mnohonožky	srpen	5	Roztoči	říjen
5	Chvostokoci	srpen			

Tabulka č. 15: Statistické vyhodnocení stanoviště VT6

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Počet (VT6) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	385,141	1	385,140€	2,775984	0,114005
Edafon	818,083	9	90,8981	0,655168	0,736766
Chyba	2358,583	17	138,7402		

V tabulce č. 15 pro výpočet jednofaktorové ANOVY je hodnota p u edafonu vyšší než stanovená hladina významnosti α . Z tohoto důvodu se hypotéza nezamítá a neexistuje statisticky významný rozdíl mezi počtem jedinců a edafonem.

Graf č. 12: Stanoviště VT6



Z grafu č. 12 je patrný největší rozptyl roztočů, menší pancířníků, chvostoskoků a stonoženek.

5.3.7 Stanoviště NT1

V rámci tohoto stanoviště bylo determinováno celkem 13 skupin bezobratlých. Zřejmě se zde projevil typ vegetace – blízkost listnatého lesa s různými druhy dřevin, a proto zde bylo determinováno velké množství půdních bezobratlých, zejména roztočů.

Tabulka č. 16: Stanoviště NT1

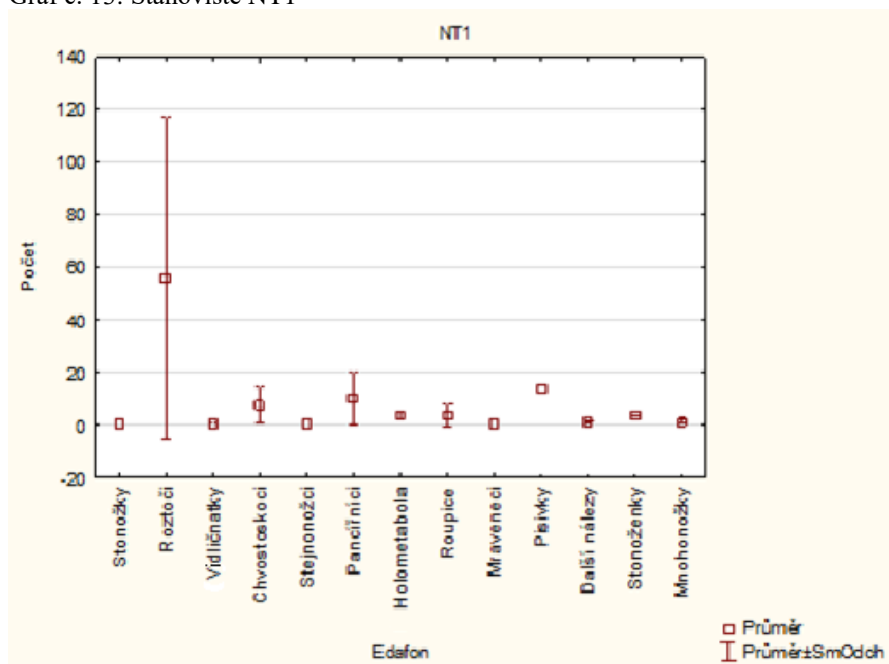
Počet	Edadon	měsíce	Počet	Edafon	měsíce
1	Stonožky	květen	4	Stonoženky	srpen
31	Roztoči	květen	3	Holometabola	srpen
1	Vidličnatky	květen	1	Mnohonožky	srpen
5	Chvostokoci	květen	10	Chvostokoci	srpen
1	Stejnonožci	květen	7	Roupice	srpen
5	Pancírníci	červen	1	Další nálezy	srpen
113	Roztoči	červen	22	Pancírníci	září
1	Vidličnatky	červen	5	Roztoči	září
5	Holometabola	červen	4	Stonoženky	září
19	Chvostokoci	červen	2	Mnohonožky	září
1	Roupice	červen	2	Chvostokoci	září
1	Mravenci	červen	2	Další nálezy	září
14	Pisivky	červen	1	Roztoči	říjen
1	Další nálezy	srpen	1	Vidličnatky	říjen
4	Pancírníci	srpen	3	Chvostokoci	říjen
130	Roztoči	srpen			

Tabulka č. 17: Statistické vyhodnocení stanoviště NT1

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Počet (NT1) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	1546,20	1	1546,198	1,807640	0,195491
Edadon	11425,24	12	952,103	1,113091	0,406717
Chyba	15396,63	18	855,369		

V tabulce č. 17 pro výpočet jednofaktorové ANOVY je hodnota p u edafonu vyšší než stanovená hladina významnosti α . Z toho důvodu se hypotéza nezamítá a neexistuje statisticky významný rozdíl mezi počtem jedinců a edafonem.

Graf č. 13: Stanoviště NT1



Nejvyššího rozptylu dosáhli roztoči, pancířníci a chvostokoci, jak ukazuje graf č.13.

5.3.8 Stanoviště NT2

Na tomto stanovišti bylo determinováno 10 různých skupin bezobratlých. Jak je vidět z tabulky č. 18, na tomto stanovišti dominovali pancířníci, chvostokoci a roztoči.

Tabulka č. 18: Stanoviště NT2

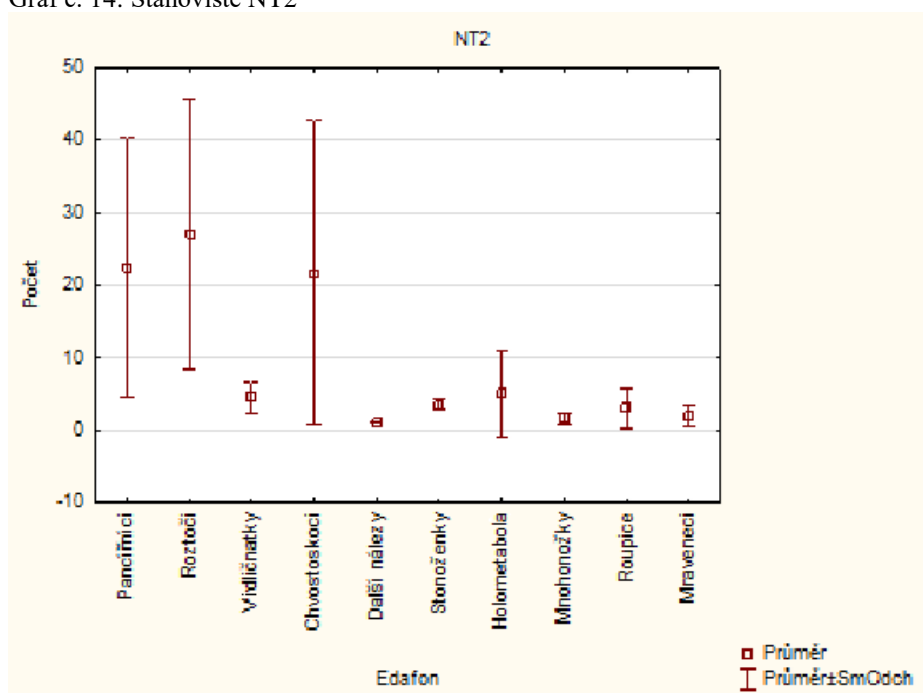
Počet	Edafon	měsíce	Počet	Edafon	měsíce
21	Pancířníci	květen	33	Roztoči	srpen
26	Roztoči	květen	1	Holometabola	srpen
6	Vidličnatky	květen	2	Mnohonožky	srpen
12	Chvostokoci	květen	24	Chvostokoci	srpen
1	Další nálezy	květen	1	Roupice	srpen
47	Pancířníci	červen	1	Mravenci	srpen
54	Roztoči	červen	18	Pancířníci	září
3	Stonoženky	červen	4	Roztoči	září
3	Vidličnatky	červen	4	Stonoženky	září
12	Holometabola	červen	2	Holometabola	září
1	Mnohonožky	červen	1	Chvostokoci	září
50	Chvostokoci	červen	3	Mravenci	září
5	Roupice	červen	1	Další nálezy	září
1	Další nálezy	červen	18	Roztoči	říjen
4	Pancířníci	srpen	1	Další nálezy	říjen

Tabulka č. 19: Statistické vyhodnocení stanoviště NT2

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Počet (NT2) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	2225,039	1	2225,039	11,83767	0,002587
Edafon	3416,750	9	379,639	2,01976	0,091398
Chyba	3759,250	20	187,963		

V tabulce č.19 pro výpočet jednofaktorové ANOVY hodnota je p u edafonu vyšší než stanovená hladina významnosti α . Z tohoto důvodu se hypotéza nezamítá a neexistuje statisticky významný rozdíl mezi počtem jedinců a edafonem.

Graf č. 14: Stanoviště NT2



Graf č. 14 znázorňuje podobnou početnost a velikost rozptylů u pancířníků, roztočů a chvostokoců. Dalšími významnými bezobratlými na této lokalitě byly skupiny Holometabola, roupice a vidličnatky.

5.3.9 Stanoviště NT3

Na tomto stanovišti bylo determinováno 12 různých skupin bezobratlých. I zde se vyskytuje větší množství roztočů, ačkoliv ne tolik jako u předchozí lokality. Toto stanoviště má poměrně dost nálezů vidličnatek viz tabulka č. 20.

Tabulka č. 20: Stanoviště NT3

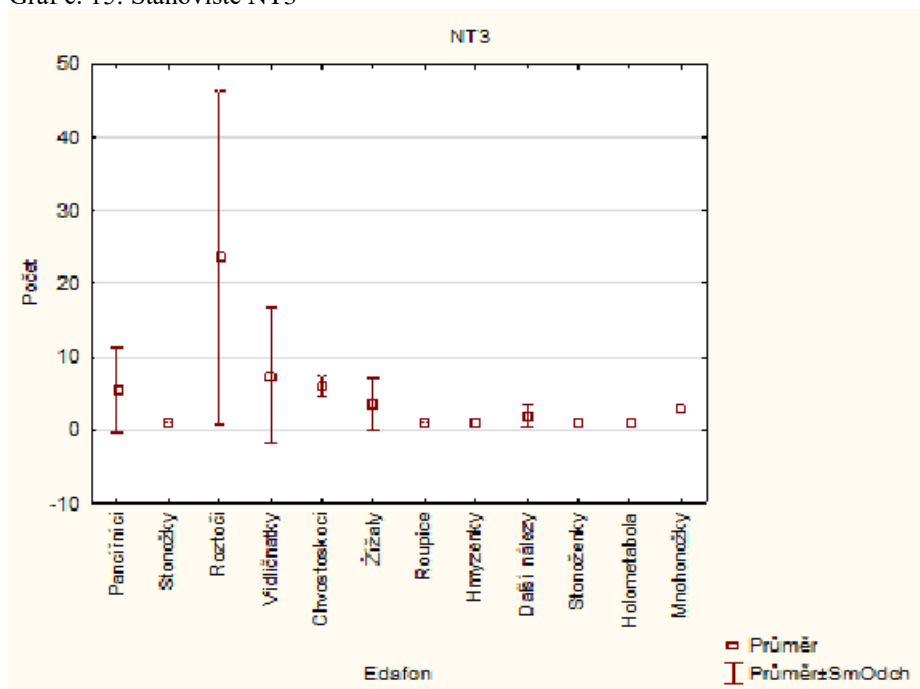
Počet	Edafon	měsíce	Počet	Edafon	měsíce
4	Pancířníci	květen	14	Vidličnatky	srpen
1	Stonožky	květen	7	Chvostoskoci	srpen
3	Pancířníci	červen	6	Žížaly	srpen
53	Roztoči	červen	1	Roupice	srpen
1	Vidličnatky	červen	14	Pancířníci	září
5	Chvostoskoci	červen	29	Roztoči	září
1	Žížaly	červen	1	Stonožky	září
1	Roupice	červen	1	Holometabola	září
1	Hmyzenky	červen	3	Mnohonožky	září
3	Další nálezy	červen	1	Další nálezy	září
1	Pancířníci	srpen	1	Stonožky	říjen
1	Roztoči	srpen	11	Roztoči	říjen

Tabulka č. 21: Statistické vyhodnocení stanoviště NT3

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Počet (NT3) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	418,133	1	418,1333	2,842833	0,117585
Edafon	1442,333	11	131,1212	0,891476	0,572034
Chyba	1765,000	12	147,0833		

V tabulce č. 21 pro výpočet jednofaktorové ANOVY je hodnota p u edafonu vyšší než stanovená hladina významnosti α . Z tohoto důvodu se hypotéza nezamítá a neexistuje statisticky významný rozdíl mezi počtem jedinců a edafonem.

Graf č. 15: Stanoviště NT3



Největšího rozptylu dosahují roztoči, dále vidličnatky a pancírníci, jak ukazuje graf č. 15.

5.3.10 Stanoviště NT4

Také na tomto stanovišti bylo determinováno 12 skupin bezobratlých. Jak ukazuje tabulka č. 22 v měsíci červnu byl nalezen větší počet larev dvoukřídlých. Početně největší skupinou bezobratlých této lokality jsou roztoči.

Tabulka č. 22: Stanoviště NT4

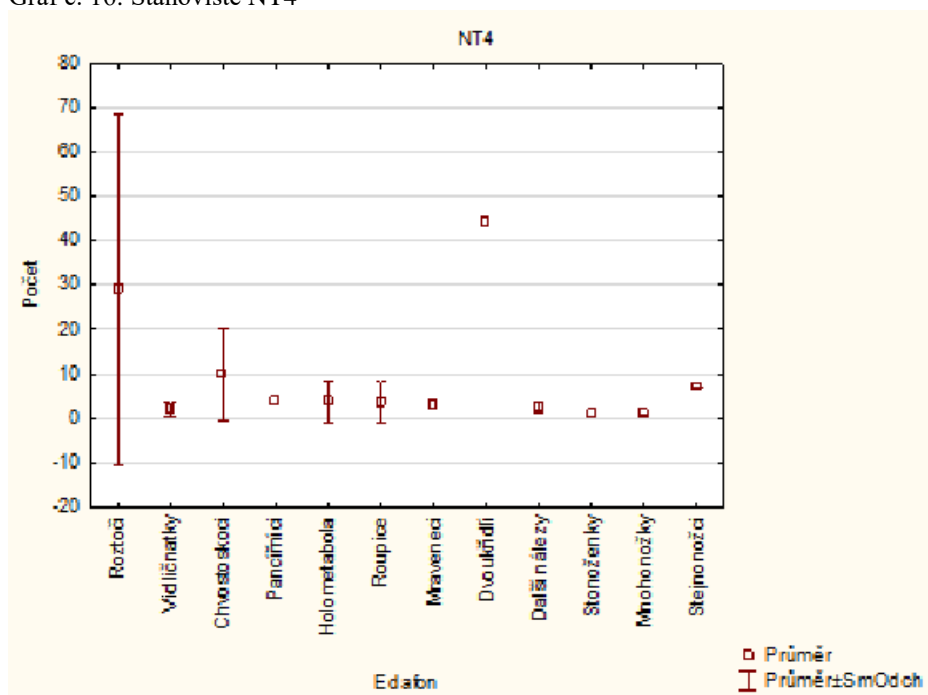
Počet	Edafon	měsíce	Počet	Edafon	měsíce
4	Roztoči	květen	11	Holometabola	srpen
1	Vidličnatky	květen	1	Mnohonožky	srpen
1	Chvostokoci	květen	18	Chvostokoci	srpen
4	Pancírníci	červen	7	Stejnonožci	srpen
91	Roztoči	červen	1	Roupice	srpen
4	Vidličnatky	červen	3	Další nálezy	srpen
1	Holometabola	červen	1	Roztoči	září
20	Chvostokoci	červen	1	Holometabola	září
9	Roupice	červen	1	Mnohonožky	září
3	Mravenci	červen	7	Stejnonožci	září
44	Dvoukřídlí	červen	1	Roupice	září
3	Další nálezy	červen	1	Další nálezy	říjen
47	Roztoči	srpen	2	Roztoči	říjen
1	Stonoženky	srpen	2	Holometabola	říjen
1	Vidličnatky	srpen	1	Chvostokoci	říjen

Tabulka č. 23: Statistické vyhodnocení stanoviště NT4

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Počet (NT4) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	1830,681	1	1830,681	4,878865	0,040392
Edafon	3949,783	11	359,071	0,956944	0,514270
Chyba	6754,083	18	375,227		

V tabulce č. 23 pro výpočet jednofaktorové ANOVY je hodnota p u edafonu vyšší než stanovená hladina významnosti α . Z toho důvodu se hypotéza nezamítá a neexistuje statisticky významný rozdíl mezi počtem jedinců a edafonem.

Graf č. 16: Stanoviště NT4



Kromě velkého rozptylu roztočů ukazuje graf č. 16 menší rozptyl také u chvostoskoků, roupic a holometabola. Největší průměrnou hodnotu mají larvy dvoukřídle. Vzhledem k tomu, že byly nalezeny na tomto stanovišti pouze jednou, nemají rozptyl.

5.3.11 Stanoviště NT5

Stejně jako na předchozích dvou stanovištích i zde bylo determinováno 12 různých skupin bezobratlých. Kromě vyššího počtu roztočů lze vidět v tabulce č. 24 také zvýšený počet holometabolous.

Tabulka č. 24: Stanoviště NT5

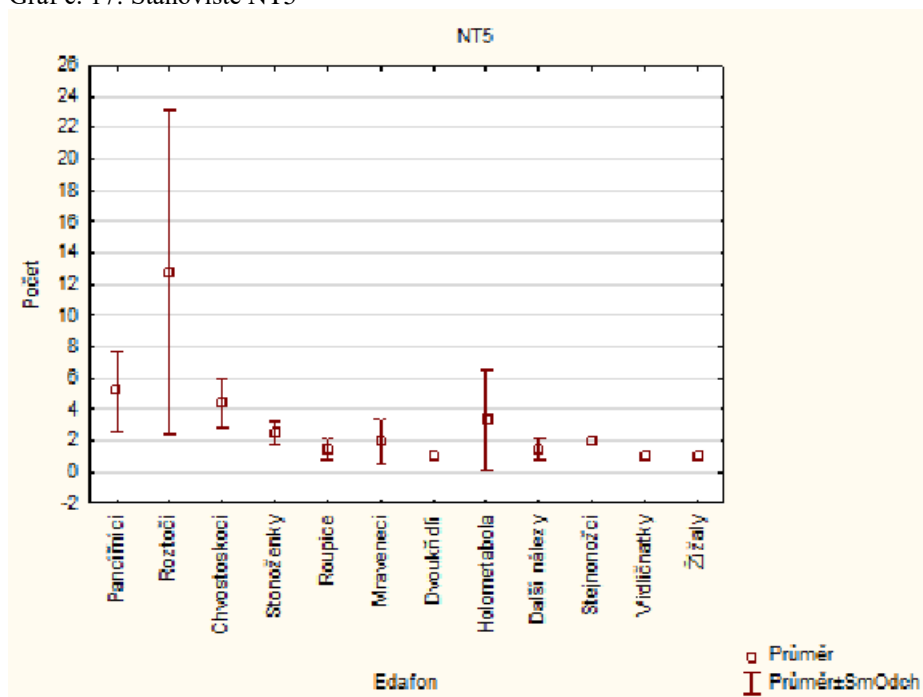
Počet	Edafon	měsíce	Počet	Edafon	měsíce
3	Pancířníci	květen	3	Mravenci	srpen
9	Roztoči	květen	2	Další nálezy	srpen
4	Chvostokoci	květen	8	Pancířníci	září
7	Pancířníci	červen	12	Roztoči	září
30	Roztoči	červen	2	Stonoženky	září
3	Stonoženky	červen	1	Holometabola	září
7	Chvostokoci	červen	4	Chvostokoci	září
2	Roupice	červen	2	Stejnonožci	září
1	Mravenci	červen	1	Další nálezy	září
1	Dvoukřídlí	červen	6	Pancířníci	říjen
2	Pancířníci	srpen	2	Roztoči	říjen
11	Roztoči	srpen	1	Vidličnatky	říjen
2	Holometabola	srpen	7	Holometabola	říjen
3	Chvostokoci	srpen	4	Chvostokoci	říjen
1	Roupice	srpen	1	Žížaly	říjen

Tabulka č. 25: Statistické vyhodnocení stanoviště NT5

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Počet (NT5) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	210,8348	1	210,8348	7,729702	0,012348
Edafon	448,9000	11	40,8091	1,496158	0,216260
Chyba	490,9667	18	27,2759		

V tabulce č. 25 pro výpočet jednofaktorové ANOVY je hodnota p u edafonu vyšší než stanovená hladina významnosti α . Z toho důvodu se hypotéza nezamítá a neexistuje statisticky významný rozdíl mezi počtem jedinců a edafonu.

Graf č. 17: Stanoviště NT5



Největšího rozptylu v grafu č. 17 dosahují roztoči. Poté následují pancířníci, holometabola, mravenci a chvostokoci.

5.3.12 Stanoviště NT6

Na tomto stanovišti bylo determinováno nejméně skupin půdních bezobratlých, pouze 8. Samotné stanoviště se nachází na otevřené pláni s travinami a menšími keři a velmi písčitou půdou. Jak je vidět v tabulce č. 26 v měsících srpnu a září byly objeveny pouze dva druhy.

Tabulka č. 26: Stanoviště NT6

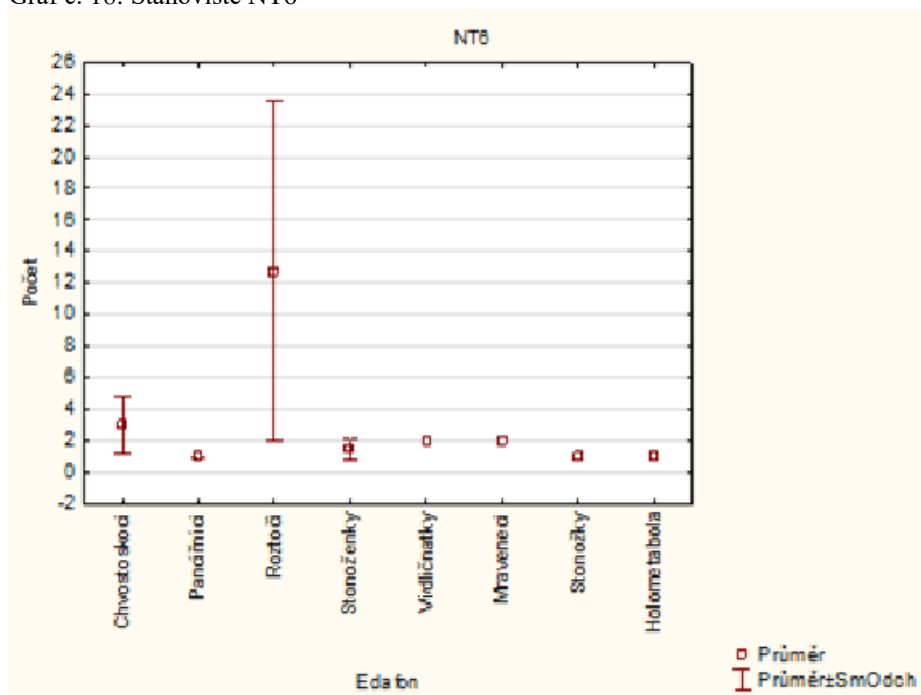
Počet	Edafon	měsíce	Počet	Edafon	měsíce
1	Chvostokoci	květen	2	Stonoženky	červen
1	Pancířníci	květen	5	Chvostokoci	červen
23	Roztoči	květen	2	Mravenci	srpen
1	Stonoženky	květen	5	Roztoči	září
2	Vidličnatky	květen	1	Stonožky	říjen
4	Chvostokoci	červen	2	Roztoči	říjen
1	Pancířníci	červen	1	Holometabola	říjen
21	Roztoči	červen	2	Chvostokoci	říjen

Tabulka č. 26: Statistické vyhodnocení stanoviště NT6

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro Počet (NT6) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	106,9205	1	106,9205	2,380970	0,161396
Edafon	360,5000	7	51,5000	1,146834	0,421604
Chyba	359,2500	8	44,9062		

V tabulce č. 27 pro výpočet jednofaktorové ANOVY je hodnota p u edafonu vyšší než stanovená hladina významnosti α . Z tohoto důvodu se hypotéza nezamítá a neexistuje statisticky významný rozdíl mezi počtem jedinců a edafonu.

Graf č. 18: Stanoviště NT6



Graf č. 18 ukazuje, že pouze tři skupiny vykazují rozptyl. Jsou to roztoči, chvostoskoci a stonožky. Kromě pancířníků se zástupci ostatních skupin na tomto stanovišti vyskytli pouze jednou.

6 Diskuze

Odběr vzorků půdy v Rybitví odhalil poměrně rozmanitou půdní faunu. Výzkum potvrdil také přítomnost makrofauny (žížal), která je omezena na horní organicky bohatou vrstvu. Ačkoliv je *Lumbricus terrestris* (žížala obecná) v České republice poměrně běžným druhem, v této lokalitě se vykytuje velice zřídka. Podle Shipitalo & Butt (1999) může kyselé pH půdy negativně ovlivňovat početnost a výskyt právě tohoto druhu. Také Pižl (2002) uvádí, že mnoho druhů žížal je spíše neutrofilních a vyhovují jim podmínky s optimální hodnotou pH 6-7. Druhy *Aporrectodea rosea* a *Aporrectodea caliginosa*, které byly v zájmovém území nalezeny v největším počtu, patří mezi acidotolerantní druhy žížal. Stejně tak druhy *Octolasion cyaneum* (nalezen v počtu dvou kusů) a *Dendrodrilus rubidus* (nalezen pouze na jedné lokalitě v počtu jednoho kusu) upřednostňují spíše půdy s nižším pH.

Z výše uvedeného lze tedy předpokládat, že půda v oblasti výzkumu má kyselé pH. Takovéto půdy způsobují kvalitativní změny nejen na povrchu, ale také v půdním prostředí. Acidifikace se může projevit nejen ve změně celkového objemu biomasy, ale také posuny v dominanci u jednotlivých skupin živočichů. Kyselé půdy mohou rovněž negativně ovlivňovat početnost žížal, pokud se v dané oblasti vyskytuje větší množství roupic, jak uvádí Räty & Huhta (2003). Autoři uvádějí, že roupice v kyselém prostředí půdy mohou vytlačovat žížaly z horní organické vrstvy. Falco et al. (2015) uvádějí, že vzhledem k tomu, jak je početnost a distribuce žížal silně ovlivněna podmínkami prostředí a ekologickým stavem systému, lze strukturu společenstva žížal úspěšně použít jako biologický indikátor půdních podmínek. Nejdůležitějšími faktory omezujícími populace žížal jsou kromě zásob potravy, vlhkosti a teplota také fyzikální a chemické vlastnosti půdy jako je pH, obsah organických látek a makroživin. Populace žížal jsou také ovlivněny přímými a nepřímými vlivy souvisejícími s typem a rozšířením vegetačního krytu (Falco et al. 2015), což by odpovídalo počtům nalezených jedinců žížal, kdy byl na stanovištích NT nalezen nízký počet žížal oproti stanovištím VT, které jsou porostlé keřovým a stromovým patrem.

Nejhojněji zastoupeným druhem nalezeným jak na stanovištích NT, tak i na stanovištích VT byl druh *Aporrectodea caliginosa*. Tento druh žížal podle Pižla (2002) obývá technogenní půdy a taktéž vyhledává půdy s nižším obsahem jílu v půdě. Přítomnost *Aporrectodea caliginosa* je dle Falco et al. (2015) spojena s vysoce narušeným prostředím, neboť se jedná o druh žížal, který se nejlépe přizpůsobuje takovému prostředí. Přítomnost tohoto druhu v hojném počtu ve zkoumané oblasti tedy naznačuje antropogenní ekosystémové změny, např. kácení porostů, úpravu břehů než vliv blízké chemické továrny. Společně s *Aporrectodea caliginosa* byl ve zkoumané oblasti v hojném počtu nalezen také druh *Aporrectodea rosea*.

Hodnocení mezofauny odhalilo velkou převahu roztočů, pancířníků a chvostoskoků. Ostatní skupiny bezobratlých byly nalezeny v nízkém počtu jedinců. Vůbec nejhojněji zastoupenou skupinou v půdních vzorcích byli půdní roztoči. Ti patří obecně k nejpočetnější skupině půdních bezobratlých a jejich nejvyšší procentuální zastoupení bylo tedy očekávané. Rozdílly v jejich početnosti mezi stanovišti NT a VT nebyly nijak významné, prakticky

shodné. Na obou lokalitách se jim dařilo zejména v červnu, kdy měli největší početné zastoupení. Počet roztočů na jednotlivých stanovištích se se zvětšující vzdáleností od odkaliště nijak výrazně neměnil.

Druhou nejpočetnější skupinou nalezenou v půdních vzorcích byli chvostokoci. Tito bezobratlí rovněž patří mezi početnější skupiny půdní mezofauny. Na rozdíl od roztočů se chvostokoci vyskytují nejvíce v travinných ekosystémech a ve smrkových lesích chladných oblastí mírného pásma (Klironomos et al. 1999). Nálezy ve vzorcích odpovídaly těmto preferencím. Větší množství chvostokoků bylo nalezeno na stanovištích bez stromového patra (NT) než na stanovištích s monokulturou vrb a topolů (VT). Klironomos et al. (1999) uvádí, že chvostokoci jsou saprofágové živíci se zejména mikroskopickými houbami, bakteriemi a řasami. Z tohoto lze předpokládat, že na stanovištích VT nebyl dostatek potravy. Při porovnání početnosti chvostokoků mezi stanovišti v těsné blízkosti odkaliště a stanovišti nejvzdálenějšími od odkaliště bylo zjištěno, že zde není významný statistický rozdíl, který by ukazoval na vliv odkaliště na početnost této skupiny půdních organismů.

Třetí procentuálně největší skupinou nalezenou v půdních vzorcích byli pancířníci. Jako většina půdních roztočů se vyskytují často výrazně agregovaně a jejich množství značně sezonně kolísá v závislosti na vlhkosti, teplotě a potravní nabídce. Jak uvádí Schlaghamerský a kol. (2020) limitujícím faktorem je obsah organické hmoty v půdě, neboť v její dekompozici hrají pancířníci významnou roli. Výskyt a diverzitu pancířníků nejvíce ovlivňuje obsah organického a mikrobiálního uhlíku, obsah vody a pH. Na jejich početnost má vliv také vegetační kryt, jak je patrné z provedeného výzkumu. Na stanovištích s dominancí bylinného patra bylo nalezeno mnohem větší množství jedinců než na stanovištích se stromovým pokryvem. Pancířníci mají poměrně dlouhý životní cyklus a tím mohou být citlivější na změny prostředí. Různé vědecké práce uvádějí, že počet pancířníků klesá směrem k výraznějšímu narušení půdního prostředí. Tito roztoči tak mají velký potenciál k využití jako bioindikátory měnícího se půdního prostředí. (Feketeová et al. 2021) Vzhledem ke zjištěným výsledkům lze usuzovat, že lokalita v okolí odkaliště není environmentálně narušena. Stanoviště v těsné blízkosti vykazovaly dokonce větší početnost pancířníků než vzdálenější stanoviště.

Z větších půdních bezobratlých tvořily významnou skupinu také roupice. Dle Šimka (2019) se roupicím nejlépe daří v jehličnatých a rašelinných půdách, kde jejich význam stoupá, jelikož nahrazují žížaly, které se silně kyselým půdám vyhýbají. Větší počet jedinců roupic byl nalezen na stanovištích NT, tedy v místech bez stromového patra.

Další výzkumy v této oblasti v rámci půdní bioty by mohly být zaměřeny na vztah žížal a roupic. Jaké jsou jejich preference a jak se navzájem ovlivňují, podobně jako ve výzkumu Butta & Brionse (2017). Dále by bylo zajímavé porovnat pH půdy v různých lokalitách v okolí chemické továrny a zjistit, zda má či nemá vliv na diverzitu půdní fauny v dané oblasti. Podobně by mohl být zaměřen výzkum na přítomnost chemikálií či těžkých kovů v dané oblasti. Účelný by byl také průzkum nedaleké nádrže Lhotky, zda nezpůsobuje kyselá dešť a tím možnou kyselost půdy v dané lokalitě.

7 Závěr

Půda patří mezi nejdůležitější aspekty lidského přežití. Bez půdy by neexistovaly potraviny, léky nebo stavební materiál. Ničení půdy, ať už přirozené či antropogenní, má dalekosáhlé důsledky pro budoucnost lidstva. Lidé by se měli více zajímat a starat o půdu nejen ve svém okolí, ale i na celém světě.

Organismy žijící v půdě, souhrnně známé jako půdní biota, hrají klíčovou roli v regulaci procesů, jako je infiltrace a skladování vody, rozklad a koloběh živin, tvorba humusu, přeměna živin a transport; navíc stimulují symbiotickou aktivitu v půdě, zlepšují ukládání organické hmoty a zabraňují erozi.

Půdní společenstva a jejich diverzita v Rybitví není významně ovlivněna chemickou továrnou Synthesia a.s. Z výsledků výzkumu vyplývá, že v dané lokalitě není žádný významný statistický rozdíl diverzity půdní fauny mezi stanovišti nacházejícími se v těsné blízkosti odkaliště a vzdálenějšími stanovišti. Z tohoto důvodu byla základní hypotéza vyvrácena. Jediné rozdíly byly zjištěny mezi dvěma typy stanovišť označených v práci VT a NT. Všechna stanoviště VT se nacházela v porostu vrb a topolů a stanoviště NT se vyskytovala na různých místech v blízkosti odkalovací nádrže na travnatých planinách nebo písčitéch lokalitách s nízkou vegetací. Právě na stanovištích NT se nacházelo více jedinců a také v průměru o jeden skupinu půdní fauny navíc.

Největšími skupinami bezobratlých determinovaných z půdních vzorků byli roztoči, chvostokoci a podřád roztočů pancířníci. Přes 50 % všech jedinců nalezených v této oblasti tvořili roztoči, 11,5 % chvostokoci a 11 % pancířníci. Stanoviště NT vykazovaly větší početnost bezobratlých než stanoviště VT. Nejviditelnější rozdíl je patrný z výsledků chvostokoků, kterých se v oblastech NT nacházelo mnohem více než v oblastech VT.

Při výzkumu žížal v této oblasti byly objeveny druhy, které zde ani v širším okolí nebyly dosud zaznamenány. Jednalo se o druhy *Octolasion cyaneum*, *Aporrectodea rosea*, *Aporrectodea caliginosa*. Běžně se vyskytující druhy jako např. *Lumbricus terrestris*, zde byly nalezeny ve velmi malém počtu. Nejhojněji byly zastoupeny druhy obývající kyselější typy půd – *Aporrectodea rosea* a *Aporrectodea caliginosa*. Na rozdíl od výsledků půdní mezofauny uvedené výše byla zaznamenána větší početnost žížal na stanovištích VT oproti stanovištím NT, a to zřejmě z toho důvodu, že stanoviště VT byla vždy stinná, lépe se zde udržovala vlhkost a byl zde lepší přístup k listovému opadu.

Ze všech výsledků a analýz výzkumu vyplývá, že v dané lokalitě není žádný významný statistický rozdíl diverzity půdní fauny mezi stanovišti nacházejícími se v těsné blízkosti odkaliště a vzdálenějšími stanovišti. Výsledky a srovnání jednotlivých lokalit vyvrátily hypotézu, že environmentální zátěž způsobená provozem chemické továrny negativně ovlivňuje diverzitu a složení společenstev půdní fauny v těsné blízkosti odkaliště. Z tohoto důvodu byla základní hypotéza vyvrácena a cíl práce, jímž bylo zpracování a vyhodnocení dat z vlastního terénního výzkumu, byl splněn. Provedený výzkum v blízkosti odkaliště, které je součástí areálu chemické továrny Synthesia a.s., neprokázal environmentální vliv na půdní společenstva v této lokalitě.

8 Literatura

- Alloway BJ. 1995. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall, London, pp 368. Available from: <https://doi.org/10.1007/978-94-011-1344-1>
- Anděl P. 2011. Ekotoxologie, bioindikace a biomonitoring. EVERNIA s.r.o., Liberec.
- AOPK ČR. Nálezová databáze ochrany přírody. [on-line databáze; portal.nature.cz]. 2023-01-30; [cit. 2023-01-30]
- AV ČR. 2020. Zůstane naše půda živá? Expertní stanovisko AV ČR, č. 3. Dostupné z: <https://www.avcr.cz/export/sites/avcr.cz/cs/veda-a-vyzkum/avex/files/2020-03.pdf>
- Butt KR & Briones MJ. 2017. Earthworms and mesofauna from an isolated, alkaline chemical waste site in Northwest England. *ScienceDirect*. Vol. 78, pp. 43-49. Available from: <https://www-sciencedirect-com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S1164556316302357?via%3Dihub#bib26>
- Coleman DC & Wall DH. 2007. Fauna: The engine for microbial activity and transport. In: Paul EA. *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*. 3rd ed. Oxford: Academic Press, 2007, p. 532, ISBN 13: 978-0-12-546807-7. Available from: doi:10.1017/S0014479707005765.
- Doran JW, Parkin TB. 1994. Defining and Assessing Soil Quality. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* 35. ISBN 9780891189305. Dostupné z Available from: <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub49.c2>
- Dragović N & Vulević T. 2020. Soil Degradation Processes, Causes, and Assessment Approaches. *Life on Land*, Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals, pp 1-12. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-319-71065-5_86-1
- EEA. 1999. Environment in the European Union at the turn of the century. *European Environment Agency*. Available from: <https://www.eea.europa.eu/publications/92-9157-202-0>
- ECHA (European Chemicals Agency). 2017. General Report 2017. ISBN: 978-92-9020-506-7. Available from: DOI: 10.2823/26916.
- Falco L, Sandler R, Momo F, Di Ciocco C, Saravia L, Coviella C. 2015. Earthworm assemblages in different intensity of agricultural uses and their relation to edaphic variables. *PeerJ* 3:e979. Available from: <https://doi.org/10.7717/peerj.979>
- FAO. 2011. The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan*, London. Available from: <http://www.fao.org/3/a-i1688e.pdf>

FAO and UN. 2015. Status of the World's Soil Resources, Main report, Prepared by Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS), *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome. Available from: <http://www.fao.org/3/a-i5126e.pdf>

FAO and UNEP. 2021. *Global assessment of soil pollution: Report*. Rome. Available from: doi.org/10.4060/cb4894en.

Feketeová Z, Mangová B, Čierniková M. 2021. The Soil Chemical Properties Influencing the Oribatid Mite (Acari; Oribatida) Abundance and Diversity in Coal Ash Basin Vicinage. *Applied Sciences*. Vol. 11, 3537. Available from: <https://doi.org/10.3390/app11083537>

Fierer N, Schimel JP, Holden PA. 2003. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 35, Is. 1, p. 167-176. Available from: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00251-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00251-1)

Fraser PM, Boag B. 1998. The distribution of lumbricid earthworm communities in relation to flatworms: a comparison between New Zealand and Europe. *Pedobiologia*. Vol. 42, p. 542-553. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/260163584>

Frey SD. 2007. Spatial distribution of soil organism. In: Paul EA. *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*. 3rd ed. Oxford: Academic Press, 2007, p. 532, ISBN 13: 978-0-12-546807-7. Available from: [doi:10.1017/S0014479707005765](https://doi.org/10.1017/S0014479707005765).

Fujii S, Berg MP, Cornelissen JHC. 2020. Living litter: Dynamic trait spektra predict fauna composition. *Trends in Ecology & Evolution*. Vol. 35, Is. 10, p. 886-896. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.05.007>

GIZ, Climate and Environmental Report. 2017. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Available from: <https://www.giz.de/en/downloads/giz2018-en-integrated-company-report-2017.pdf>

Haynes RJ. 2014. Chapter Two – Nature of the belowground ekosystém and its development during pedogenesis. *Advances in Agronomy*. Vol. 127, p. 43-109. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800131-8.00002-9>

Historie. 2011. *Synthesia* [online]. Dostupné z: <http://www.synthesia.eu/cze/o-spolecnosti/historie>.

Hruška M et al. 2021. Situační a výhledová zpráva – 2021. MZe ČR, Praha

Kertesz A. 2009. The global problém of land degradation and desertification. *Hungarian Geographical Bulletin*. Vol. 58. No 1. Pp. 19-31. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Adam-Kertesz/5/publication/280015362_The_global_problem_of_land_degradation_and_desertification/links/5c4da7cf299bf12be3e70aa0/The-global-problem-of-land-degradation-and-desertification.pdf

- Kim TK. 2017. Understanding one-way ANOVA using conceptual figures. *Korean Journal of Anesthesiology*. Vol. 70(1), p. 22-26. Available from: doi:10.4097/kjae.2017.70.1.22
- Klironomos JN, Bednarczuk EM, Neville J. 1999. Reproductive significance of feeding on saprobic and arbuscular mycorrhizal fungi by the collembolan, *Folsomia candida*. *Functional Ecology*. Vol. 13, Is. 6, p. 756-761. Available from: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1999.00379.x>
- Lal R & Stewart BA. 1990. Soil degradation: A global threat. *Advances in soil science*. Springer-Verlag New York Inc. Vol. 11, pp. xiii – xvii. ISBN-13: 978-1-4612-7966-2.
- Lal R. 1997. Degradation and resilience of soils. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 352(1356). Available from: doi:10.1098/rstb.1997.0078.
- Lal R. 2001. Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12:519–539. Available from: http://tinread.usarb.md:8888/tinread/fulltext/lal/soil_degradation.pdf
- Martinez-Salgado MM, Gutiérrez-Romero V, Janssen M, Ortega-Blu R. 2010. Biological soil quality indicators: a review. *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*. 1:319-328. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/285738755>
- Menta C. 2012. Soil fauna diversity – function, soil degradation, biological indices, soil restoration. In: Lameed GA. Biodiversity conservation and utilization in a diverse world. IntechOpen, 2012, p. 296. ISBN 978-953-51-0719-4. Available from: DOI:10.5772/51091
- Nielsen UN. 2019. Approaches to studying soil fauna and its functional roles. Chapter 3 in: *Soil fauna assemblages. Global to local scales*. Cambridge University Press, pp. 86-120. Available from: <https://doi.org/10.1017/9781108123518.00>.
- Nortcliff S, Hulpke H, Bannick CG, Terytze K, Knoop G, Bredemeier M, Schulte-Bisping H. 2006. Soil, Definition, Function, and Utilization of Soil. Chap. 1 in: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim: Wiley-VCH. ISBN: 3527313184. Available from: doi: 10.1002/14356007.b07_613.pub2
- Oldeman LR, Hakkeling RTA, Sombroek WG. 1991. World map of the status of human induced soil degradation: An explanatory note. *International Soil Reference and Information Centre and United Nations Environment Programme, Wageningen/Nairobi*. Available from: http://www.the-eis.com/data/literature/World%20map%20of%20the%20status%20of%20human-induced%20soil%20degradation_1991.pdf
- Olson GW. 1981. *Soils and the Environment. A Guide to Soil Surveys and Their Applications*. London: Chapman and Hall, pp 178. ISBN: 978-94-011-6937-0.

O společnosti. 2011. *Synthesia* [online]. Dostupné z: <http://www.synthesia.eu/cze/o-spolecnosti>.

Panagos P, Van Liedekerke M, Yigini Y, Montanarella L. 2013. Contaminated Sites in Europe: Review of the Current Situation Based on Data Collected through a European Network. *Journal of Environmental and Public Health*. Vol. 2013, p. 11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/158764>

Panagos P, Borrelli P, Poesen J, Ballabio C, Lugato E, Meusburger K, Montanarella L, Alewell C. 2015. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. 54:438–447. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>.

Paul EA. 2007. *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*. 3rd ed. Oxford: Academic Press, pp 532, ISBN 13: 978-0-12-546807-7. Available from: [doi:10.1017/S0014479707005765](https://doi.org/10.1017/S0014479707005765).

Pižl V. 2002. *Žížaly České republiky* (Earthworms of the Czech Republic), Přírodovědný klub v Uherském Hradišti, 154 s., ISBN 80-86485-04-8.

Qadir M, Quillérou E, Nangia V, Murtaza G, Singh M, Thomas RJ, Drechsel P, Noble AD. 2014. Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Natural resources forum*. Vol. 38, No. 4, pp. 282-295. Available from: <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12054>.

Räty M & Huhta V. 2003. Earthworms and pH affect communities of nematodes and enchytraeids in forest soil. *Biology and Fertility of Soils*. Vol. 38, pp. 52-58. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-003-0614-5>

Rusakova E, Sukhacheva E, Hartemink AE. 2022. Vasiliy Dokuchaev – A biographical sketch on the occasion of his 175th birthday. *Geoderma*. Vol. 412, ISSN 0016-7061. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115718>.

Schimel J. 2007. Soil mikrobiology, ekology, and biochemistry for the 21st century. In: Paul EA. *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*. 3rd ed. Oxford: Academic Press, 2007, p. 532, ISBN 13: 978-0-12-546807-7. Available from: [doi:10.1017/S0014479707005765](https://doi.org/10.1017/S0014479707005765).

Schinner F, Öhlinger R, Kandeler E, & Margesin R. (Eds.). 1995. *Methods in soil biology*. Springer – Verlag, Berlin. ISBN-13: 978-3-642-64633-1. 426 p.

Schlaghamerský J, Bryndová M, Devetter M, Háněl L, Kováč L, Starý J, Tajovský K, Šimek M. 2020. Živá půda 4. Půdní mikrofauna a mezofauna. *ŽIVA*, 4. Nakladatelství Academia, SSČ AV ČR, v. v. i., s. 181-185. Dostupné z: <https://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/ziva-puda-4-pudni-mikrofauna-a-mezofauna.pdf>

Schlaghamerský J, Pižl V, Tajovský K, Tuf IH, Tůma J, Šimek M. 2020. Živá půda 5. Půdní makrofauna a megafauna. *ŽIVA*, 6. Nakladatelství Academia, SSČ AV ČR, v. v. i., s. 302-307. Dostupné z: <https://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/ziva-puda-5-pudni-makrofauna-a-megafauna.pdf>

Shipitalo MJ & Butt KR. 1999. Occupancy and geometrical properties of lumbricus terrestris L. burrows affecting infiltration. *Pedobiologia*. Vol. 43, pp. 782-794.

Šimek M. 2019. *Živá půda*. Praha: Academia. 796 s. ISBN 978-80-200-2976-8

Talwar HK & Chatli AS. 2018. Microflora of soil: a review. *International journal of advanced research* 6(10), p. 1502-1520. ISSN: 2320-5407. Available from: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/7960>

Valenta Z a Pokorný O. 2014. *DOPRŮZKUM A AKTUALIZACE ANALÝZY RIZIKA SYNTHESIA, A.S. 2. ETAPA. Projekt pro výběrové řízení*. Environmental monitoring agency agss, s.r.o., Praha, C/26001. Dostupné z: https://mfc.ezak.cz/document_2767/608e246cd98903b82716898d73dc2cc9-projekt-pro-vyberove-řízení-pdf

Vopravil J. 2016. Půda a nové nástroje. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i. Dostupné z: https://aa.ecn.cz/img_upload/5c056690afe4c19cfc7c7c1869565537/jan-vopravil_slunakov_1.-12.-2016.pdf.

Young R, Orsini S, Fitzpatrick I. 2015. Soil degradation: a major threat to humanity. Published by the Sustainable Food Trust. Available from: http://www.fao.org/fsnforum/sites/default/files/discussions/contributions/Soil-degradation-Final-final_0.pdf

9 Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Vzájemné vztahy organismů, organické hmoty a anorganické složky při tvorbě půdy.	10
Obrázek č. 2: Vzájemné interakce zemských sfér	11
Obrázek č. 3: Degradace půdy	14
Obrázek č. 4: Typy, faktory a důsledky degradace půd.....	15
Obrázek č. 5: Kategorizace hlavních polutantů vyskytujících se v půdách.....	20
Obrázek č. 6: Hustota potencionálně kontaminovaných míst (PCS) v jednotlivých zemích ...	22
Obrázek č. 7: Klasifikace půdních organismů podle velikosti.	23
Obrázek č. 8: Vliv dynamických vlastností organické vrstvy na půdní faunu.	28
Obrázek č. 9: Rozdílné ekologické niky tří ekotypů žížal.	35
Obrázek č. 10: Ortofoto mapa části areálu, nádrže a odkaliště společnosti Synthesia, a.s.....	37
Obrázek č. 11: Mapa odběrných míst.	38
Obrázek č. 12: Vybavení pro odběr půdy a žížal.....	40
Obrázek č. 13: Schéma Tullgrenova extraktoru	41

